

562 - 50

el hormigón pretensado en puentes de ferrocarril

CARLOS FERNANDEZ CASADO, *ingeniero de caminos*

II parte

tramo continuo, láminas 16 a 21

La mayor luz parece corresponder al puente sobre el Sihl, en Sihlwald, con vano central de 36 m y tramos laterales de 14, siendo digno de notar los apoyos extremos realizados en péndulos de gran altura para independizar estribo y apoyo del tramo. Los pilares pendulares realizan una articulación de deslizamiento inmejorable. Otro puente interesante sobre bielas, en este caso para apoyos intermedios, es el representado en la lámina 16.

La sección típica es la de cajón, que puede adoptarse en toda la longitud o bien en las zonas de inversión de momentos flectores. La altura del dintel puede ser constante, pero también se varía en crecimiento desde secciones centrales a las de apoyos. También se utiliza el tablero de vigas con forjado inferior, aunque es menos frecuente. (Ver puente de Heidelberg.) Asimismo, el tablero de losa como en el puente de la lámina 16.

La continuidad se extiende a veces a un número importante de vanos, como en el puente de Heilbronn, con cinco luces: $20,80 + 18,15 + 2 + 21,57 + 19,60$ m, o el del Eder en Grifte, con seis de 20 y 25,10 (lámina 19). Los cables, salvo excepciones, como en el del puente de Euskirchen, que son rectos (lámina 17), son siempre curvos, pasando de cabeza inferior en centro a superior sobre apoyos. Las alternancias de curvatura se limitan generalmente a dos vanos continuos.

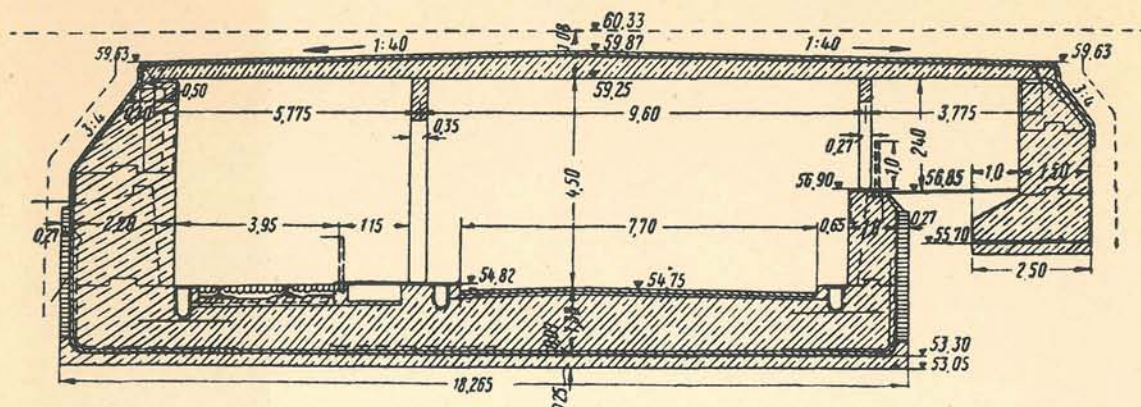
Las esbelteces longitudinales son materialmente más reducidas que en los tramos sencillos, resultando de $1/13$ a $1/21$ en tablero superior, llegando a esbelteces de $1/16$ en losas.

Es poco frecuente el puente de tramos ménsulas, siendo frecuente hacer el montaje con articulaciones intermedias que se cierran después para dar continuidad, como se hizo en el puente Juazeiro, cuyo tablero, para carretera y ferrocarril, se ejecutó por premoldeo total.

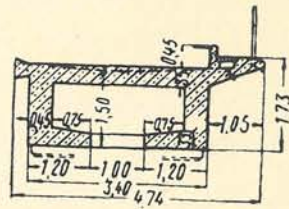
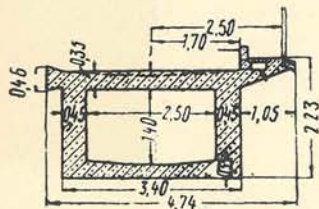
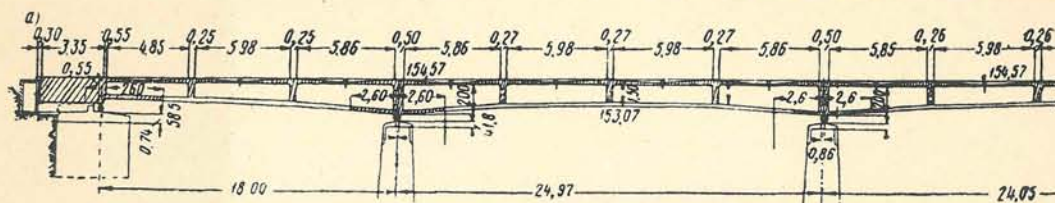
lámina XVI

PUENTES DE TRAMO CONTINUO EN ALEMANIA

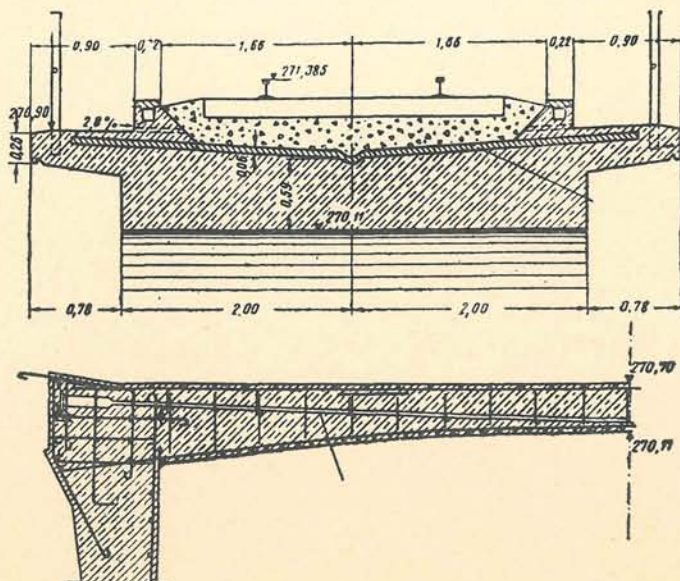
LOSA SOBRE APOYOS PENDULARES



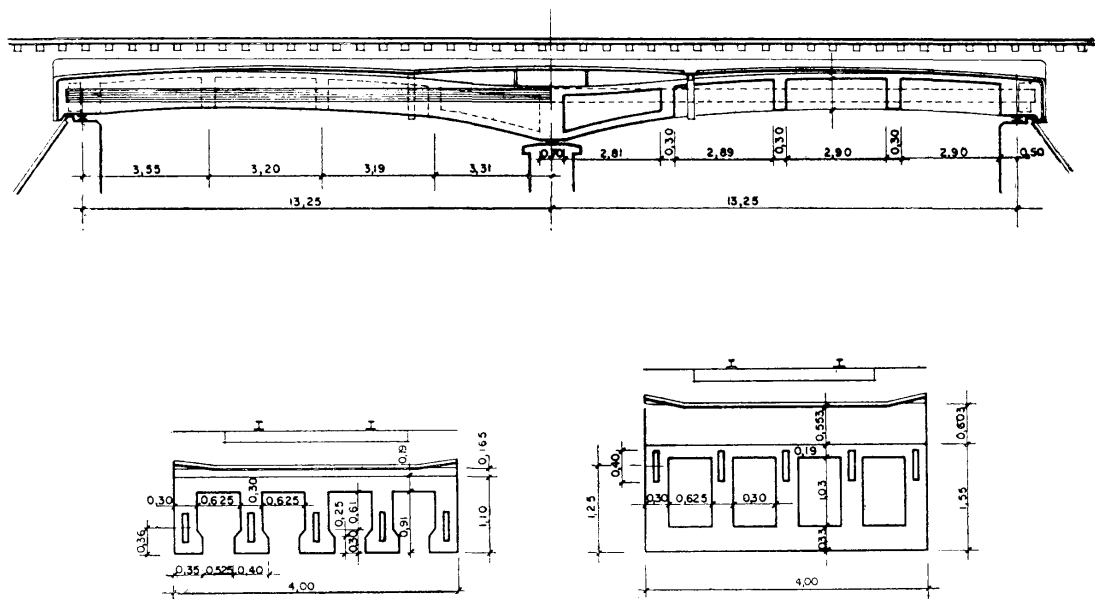
PUENTE DE KOCKER EN KOCKERDORF



PORTICO DE LOSA



PUENTE SOBRE EL ERFT EN EUSKIRCHEN



PASO DE FERROCARRIL EN HEIDELBERG

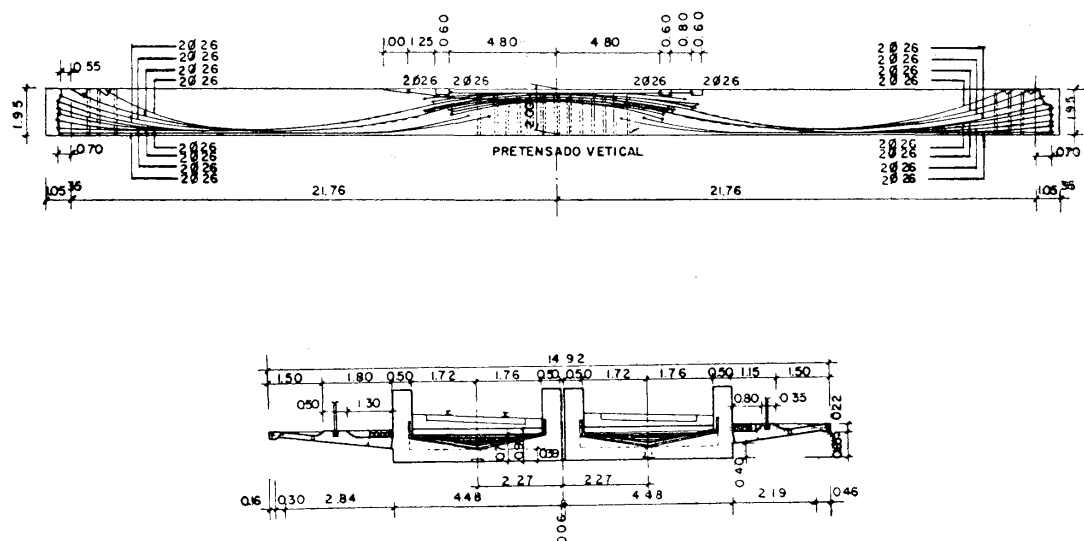
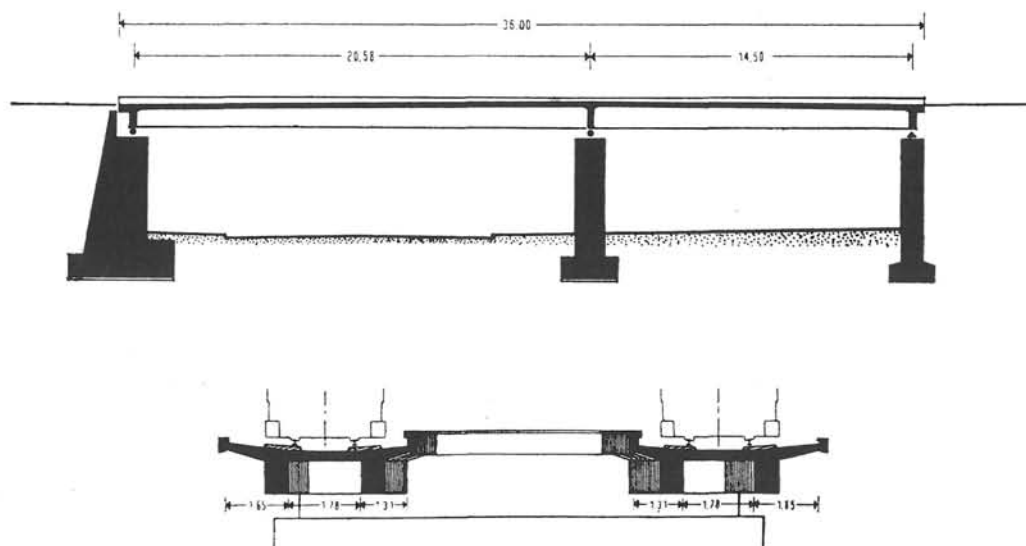


lámina XVIII

**PASO DEL F. C. METROPOLITANO SOBRE
LA CALLE OTISS - BERLIN**



PUENTE EDERSTROM EN GRIFTE ALEMANIA (1951)

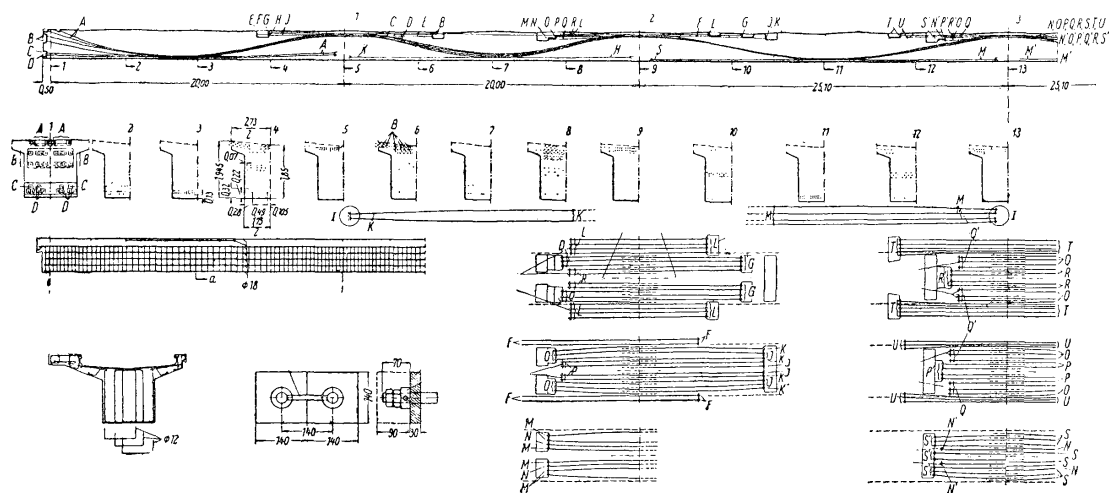
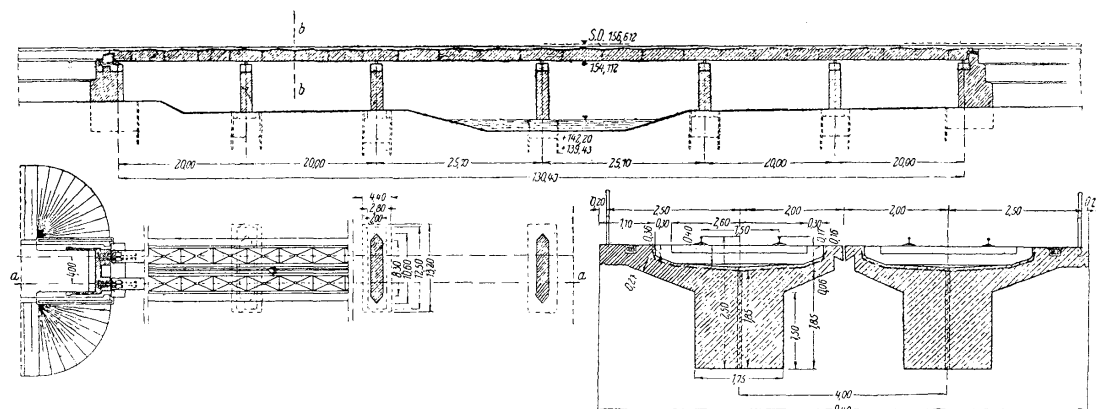
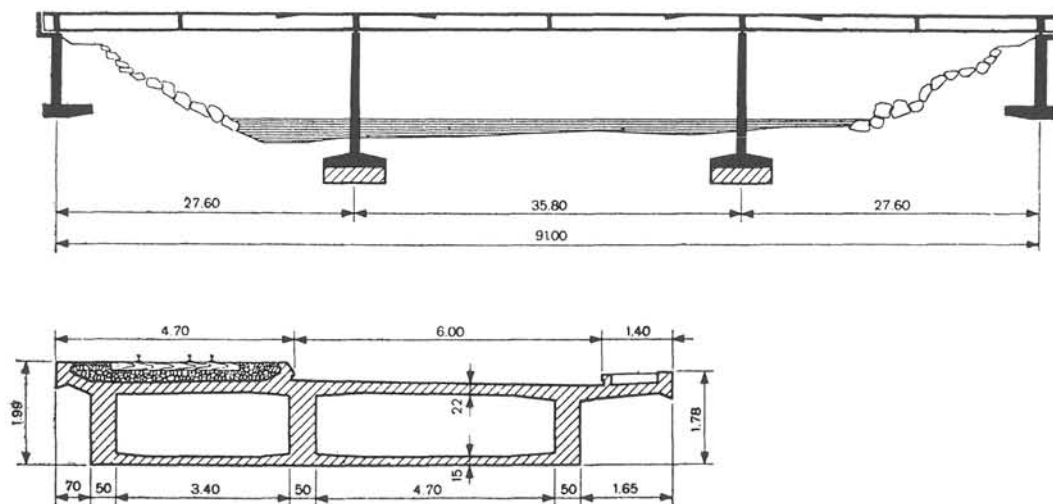
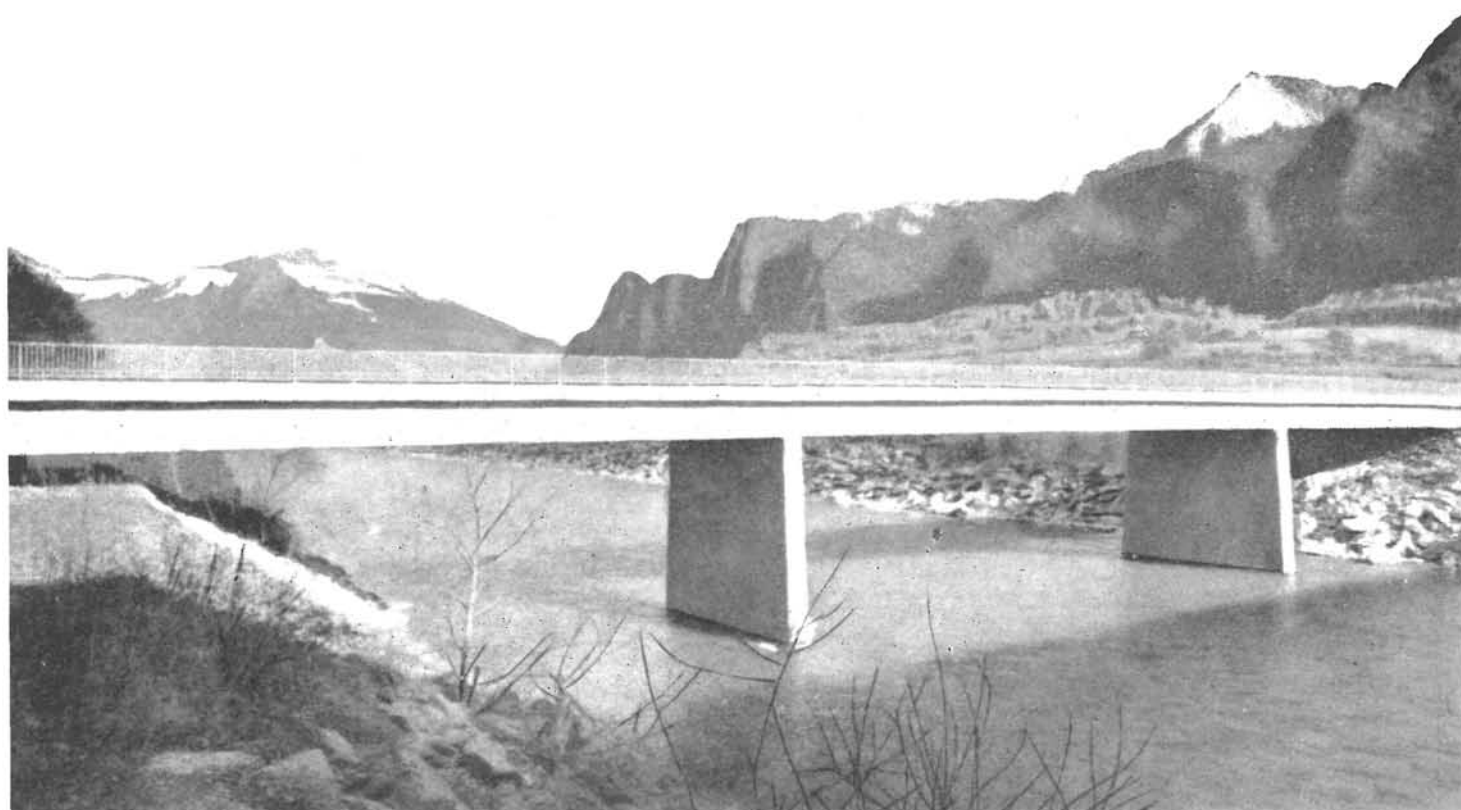


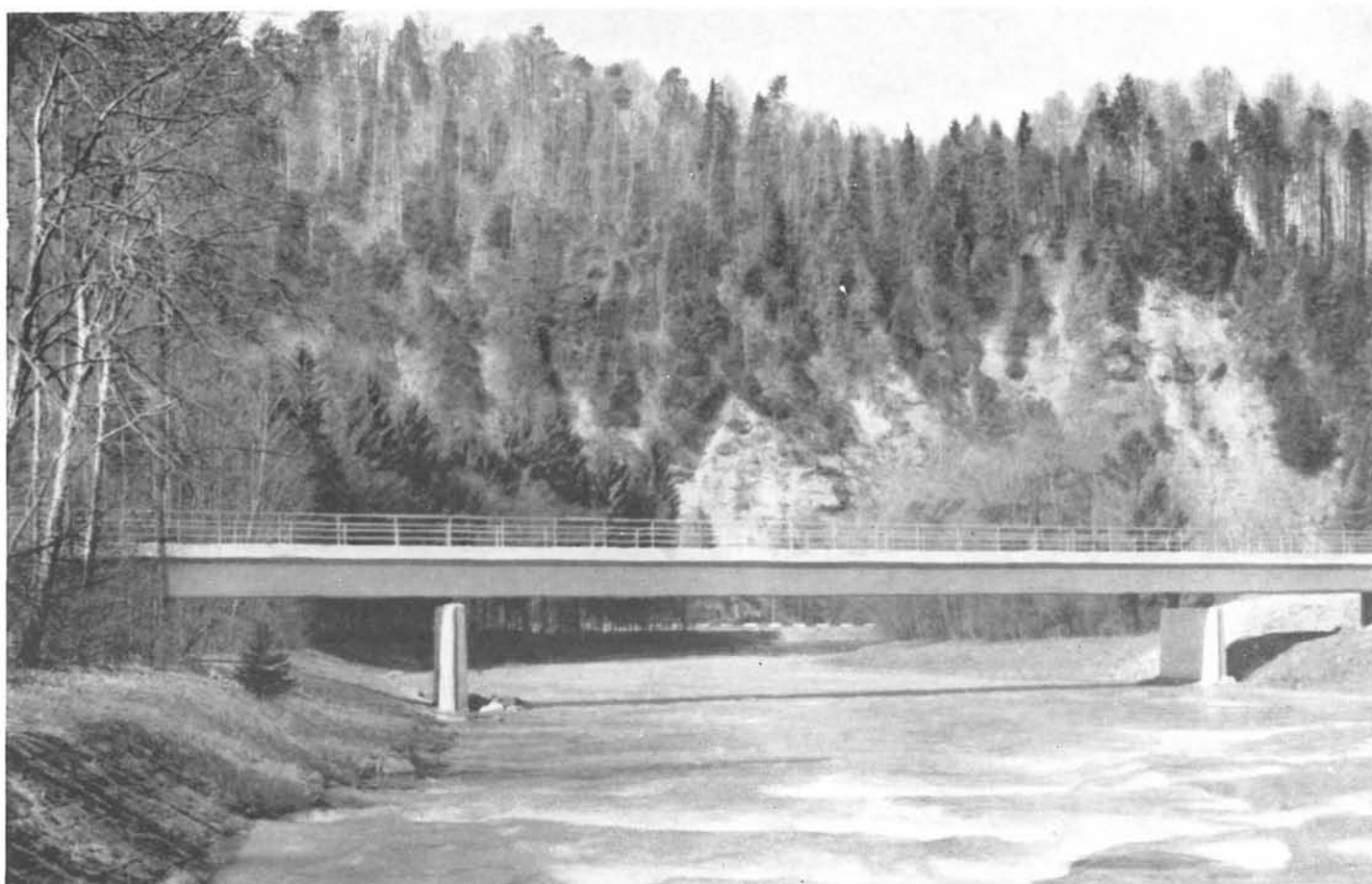
lámina XIX

lámina XX



PUENTE SOBRE EL RIN EN UNTERVAZ (SUIZA)





PUENTE SOBRE EL SIHL EN SIHLWALD (SUIZA)

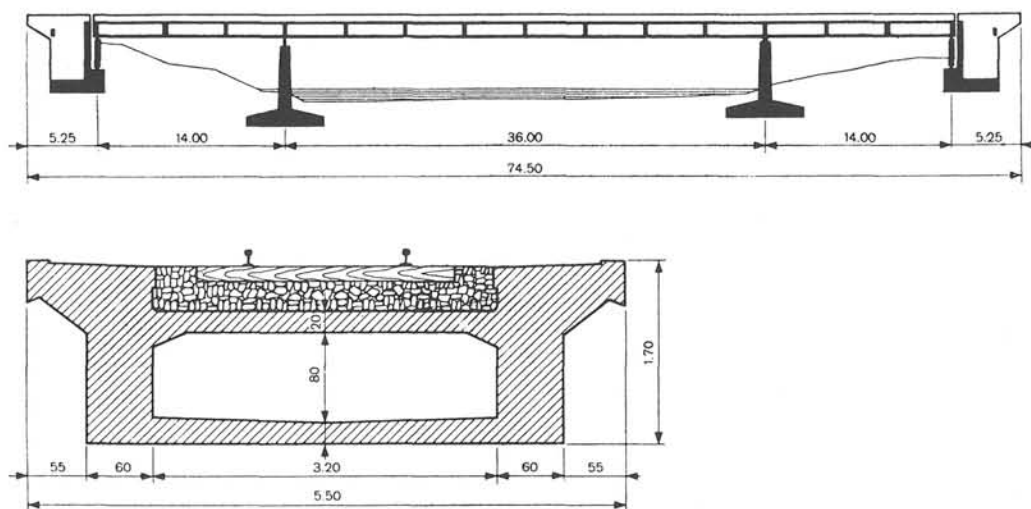


lámina XXI

pórticos, láminas 22 a 26

En puentes pórticos es donde tenemos las máximas realizaciones de hormigón pretensado para ferrocarril: por un lado el puente (láminas 26 a 28) de la Voulte, de la S.N.C.F., salvando cinco vanos de 60 m entre ejes de apoyos, y por otro, el viaducto Horremer, para un ferrocarril minero de gran carga en Alemania, con 85,50 m de luz (láminas 1 y 25) entre patas inclinadas y una longitud total de unos 145 metros.

Se han utilizado todos los tipos de estructura disponibles, desde el pórtico sencillo ortogonal, con pies empotrados (puente Uramsweg, de Berlín, en lámina 24) o articulados, en cuya solución se ha llegado a los 65,10 m de luz libre (puente sobre la calle Seidel, también en Berlín), hasta el pórtico en π con patas inclinadas, al que corresponde la luz máxima del puente Horremer ya mencionado. El puente de La Voulte se organizó en pórticos trapeziales independientes, y tenemos pórticos con células triangulares de extremidad en algunos puentes suizos, con luz máxima en el paso superior de Stigli, con separación de 26,40 entre ejes de cimentaciones (lámina 23). Como puede verse en las láminas, se ha llegado a oblicuidades de consideración, como en el paso sobre la carretera W. W. (lámina 22), con tabiques de gran esbeltez y también a plantas curvas como puede comprobarse por la inclinación de la vía correspondiente al peralte.

Las secciones típicas son tablero de losa en luces pequeñas y medianas y sección cajón para luces grandes, teniendo generalmente canto variable con intradós curvo. La losa inferior de los cajones es también de espesor variable, aumentando de centro a extremos.

conclusión

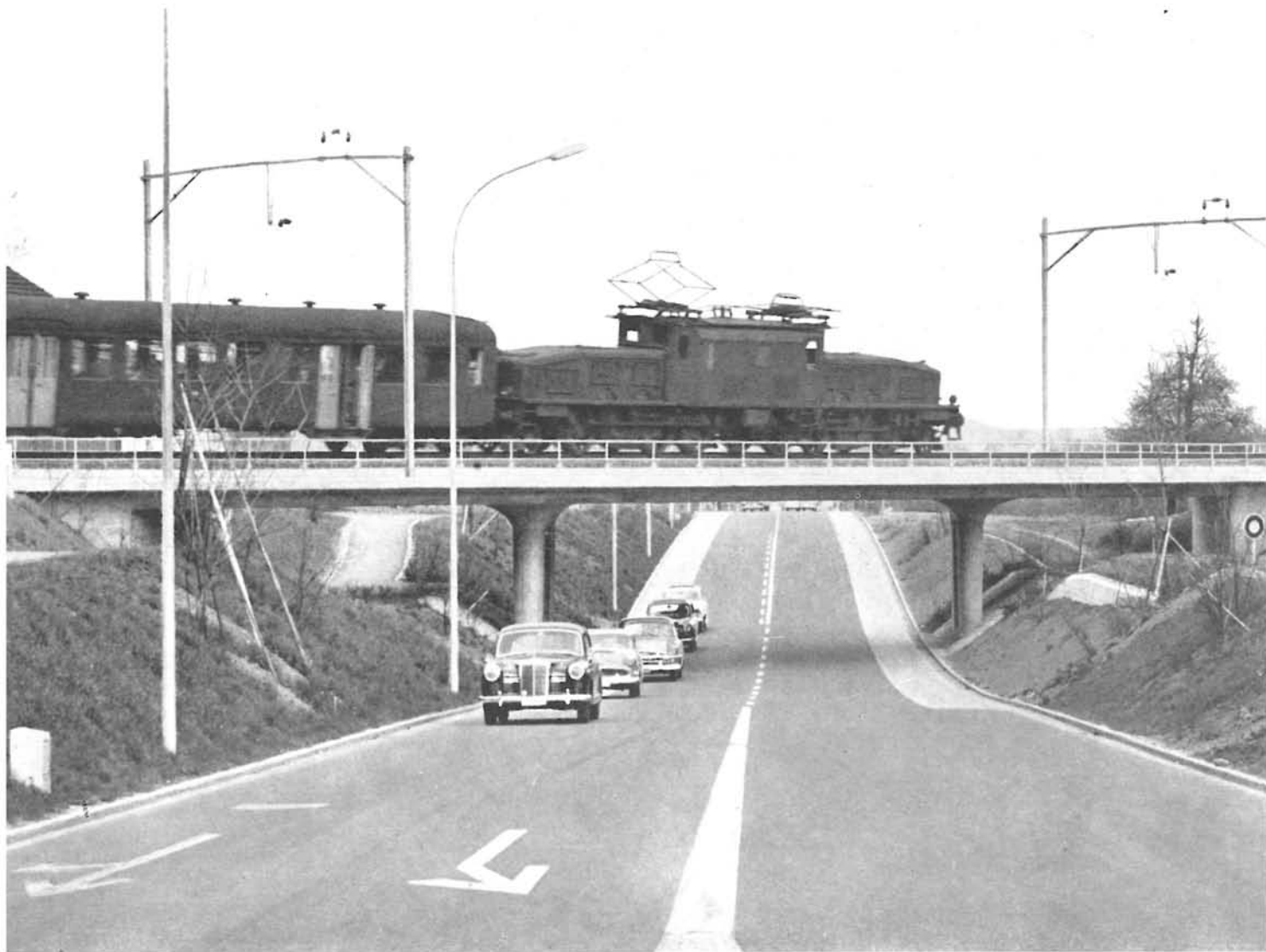
No hace falta insistir sobre el hecho de que el hormigón pretensado ha tomado carta de naturaleza en puentes ferroviarios, pues destaca claramente de la exposición anterior y, sobre todo, de las láminas que siguen. Pero es conveniente establecer una comparación entre las probabilidades de los tres materiales actualmente utilizables para todo tipo de puentes.

El acero tuvo su rápido desarrollo en la aplicación a puentes con simultaneidad a la construcción de los primeros ferrocarriles. Por este motivo se aceptó sin más, pero tiene dos defectos fundamentales, su pequeño peso y rigidez y su atacabilidad por los agentes atmosféricos.

El hormigón se aplicó a puentes como fábrica apta únicamente para las estructuras en arco y en su modalidad de hormigón armado para todo tipo de estructuras. Pero en los tramos rectos destaca su inadecuación al agrietarse, lo que vuelve a plantear el defecto de la oxidación del acero. Además, una estructura cascada es poco apta para alternarios de esfuerzos. Se trata de un material esencialmente heterogéneo.

En cambio, el hormigón pretensado tiene la magnífica cualidad de su integridad si se impone la condición pretensado total. El peligro de oxidación desaparece también con esta condición. Tiene una masa y una rigidez mucho mayores que las de las estructuras de acero, aventajando, además, a éstas en su seguridad total a la fatiga, si nos mantenemos por debajo de la carga de formación.

Como ventajas supletorias, la reducción de altura permite utilizar la prefabricación en mayor escala, y la condición de altura estricta puede obtenerse con mayor facilidad que en hormigón normal.



PASO DE F. C. SOBRE LA
CARRETERA DE WNITHER-
THUR EN WALLISELLEN

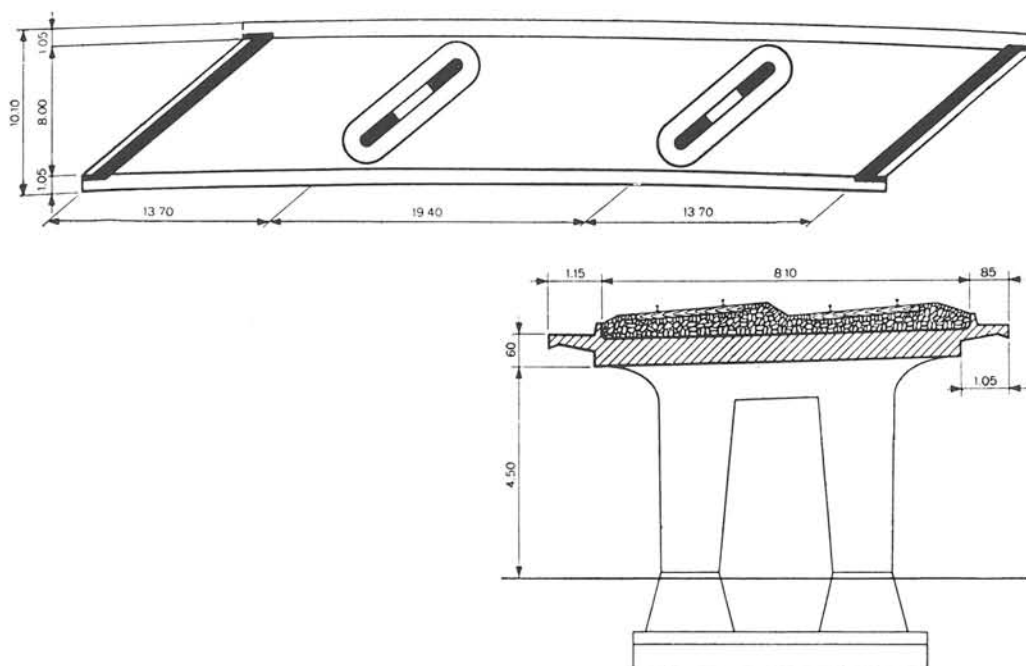


lámina XXII



PUENTE FERROVIARIO DE STIGLI (SUIZA)

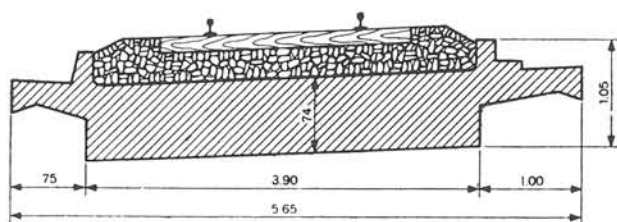
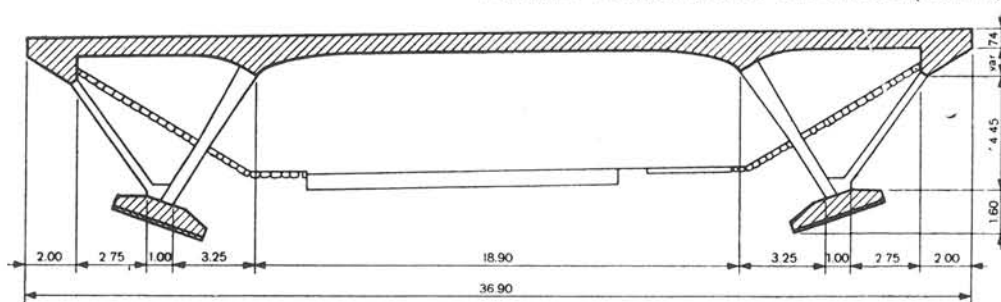
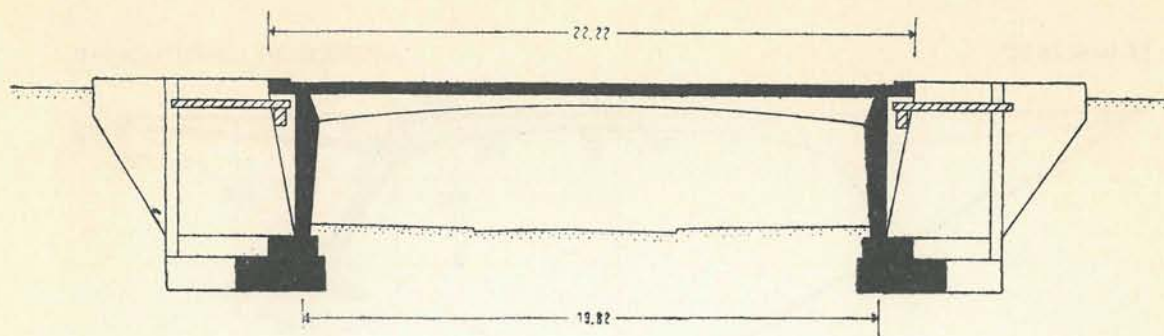


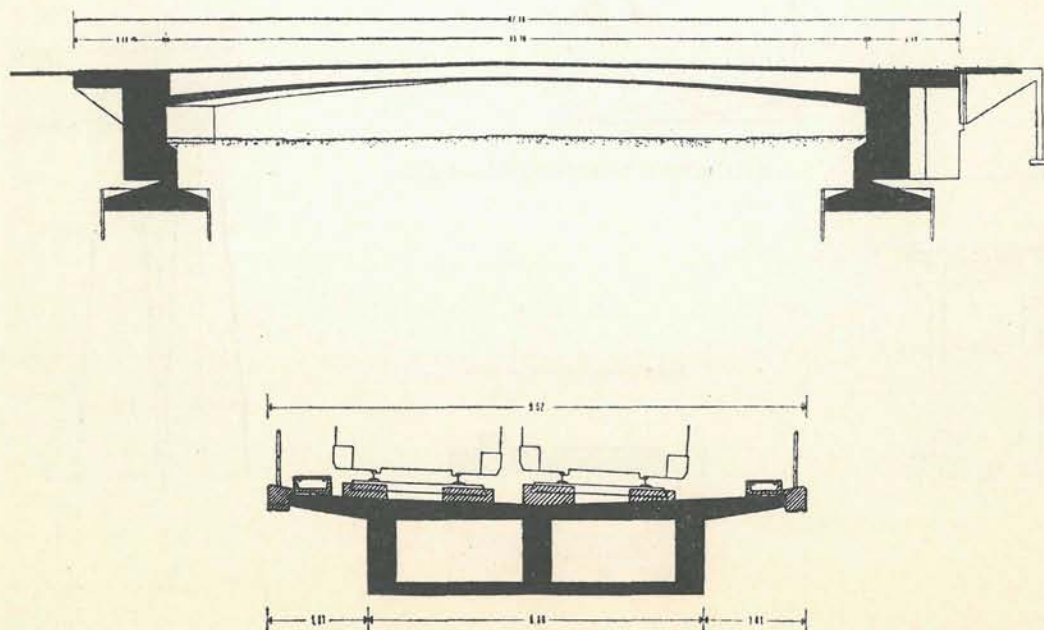
lámina XXIII

lámina XXIV

PUENTE URANUSWEG - BERLIN

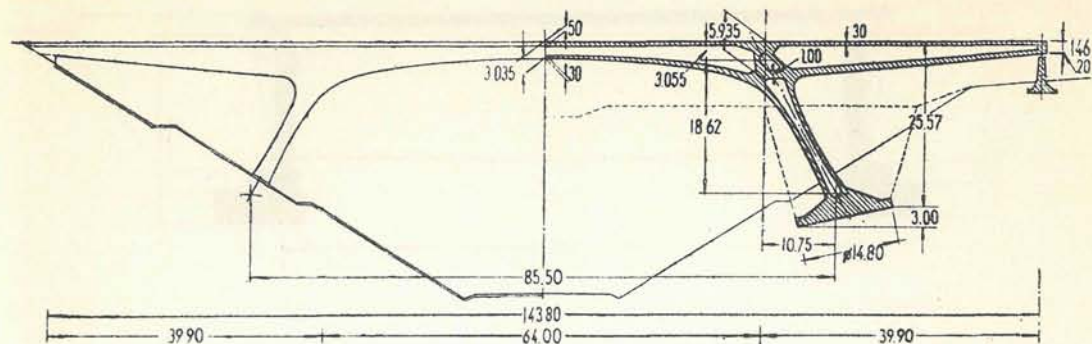


**PASO DEL F. C. METROPOLITANO
SOBRE LA CALLE SEIDEL - BERLIN**



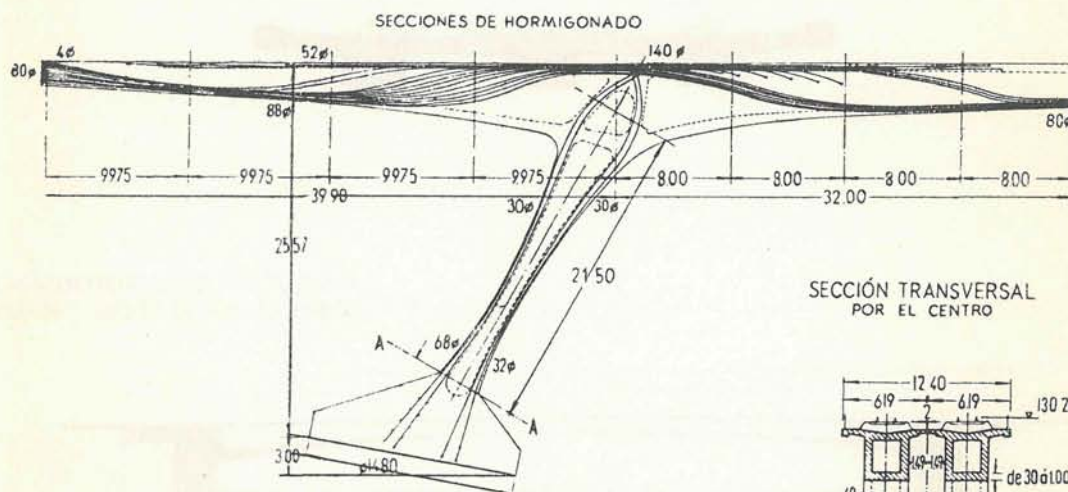
VIADUCTO HORREMER

SEMIALZADO



SEMISECCIÓN LONGITUDINAL

SECCIÓN LONGITUDINAL
DETALLE DE LA ARMADURA

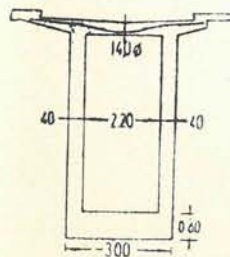


SECCIONES DE HORMIGONADO

SECCIONES TRANSVERSALES

SECCIÓN TRANSVERSAL
POR EL CENTRO

DINTEL ZONA APOYO



PILAR ZONA INFERIOR A-A

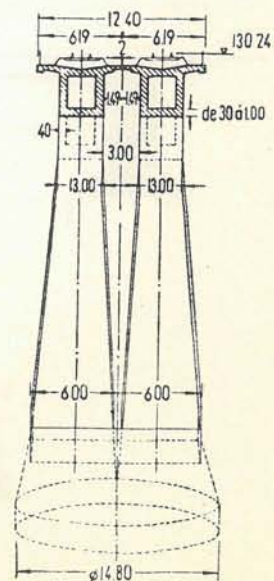
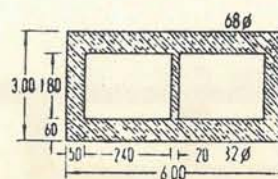


lámina XXV

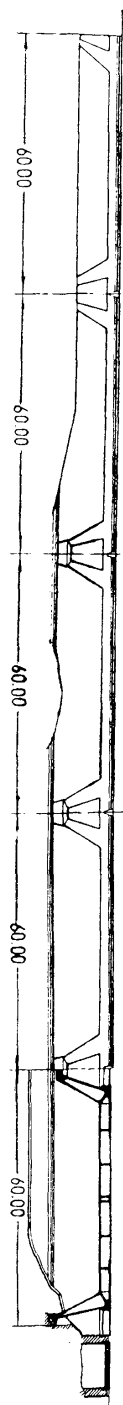


PUENTE DE LA
VOULTE



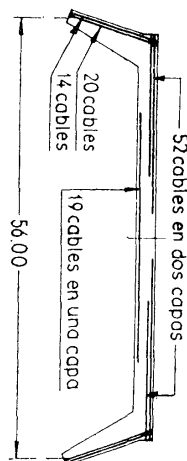
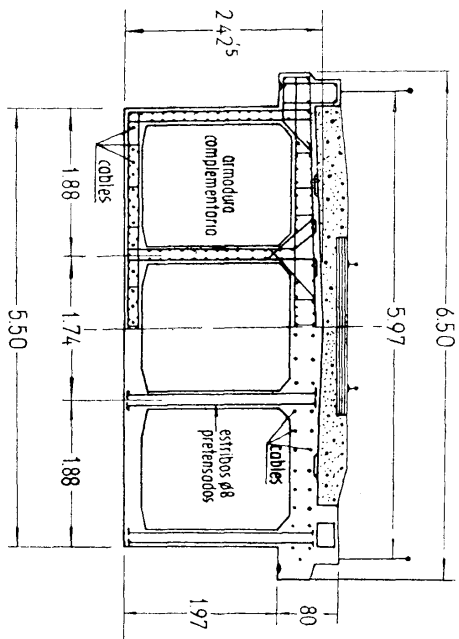
lámina XXVI

ALZADO



VIADUCTO DE LA VOUTTE

SECCIÓN TRANSVERSAL



PROCESO CONSTRUCTIVO

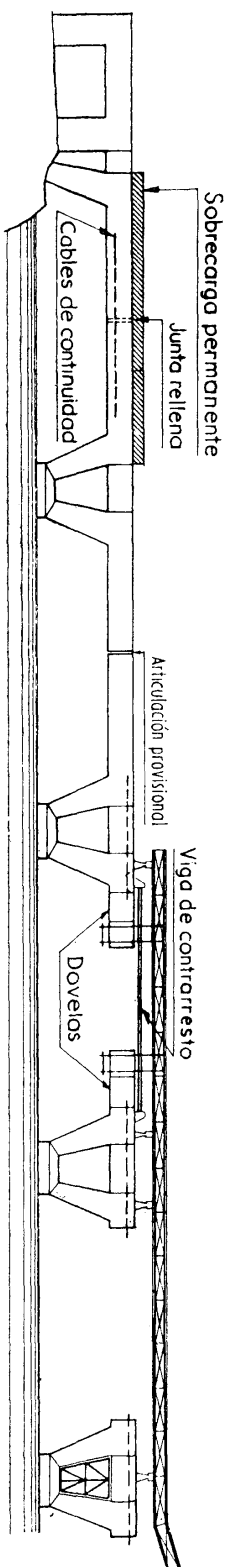
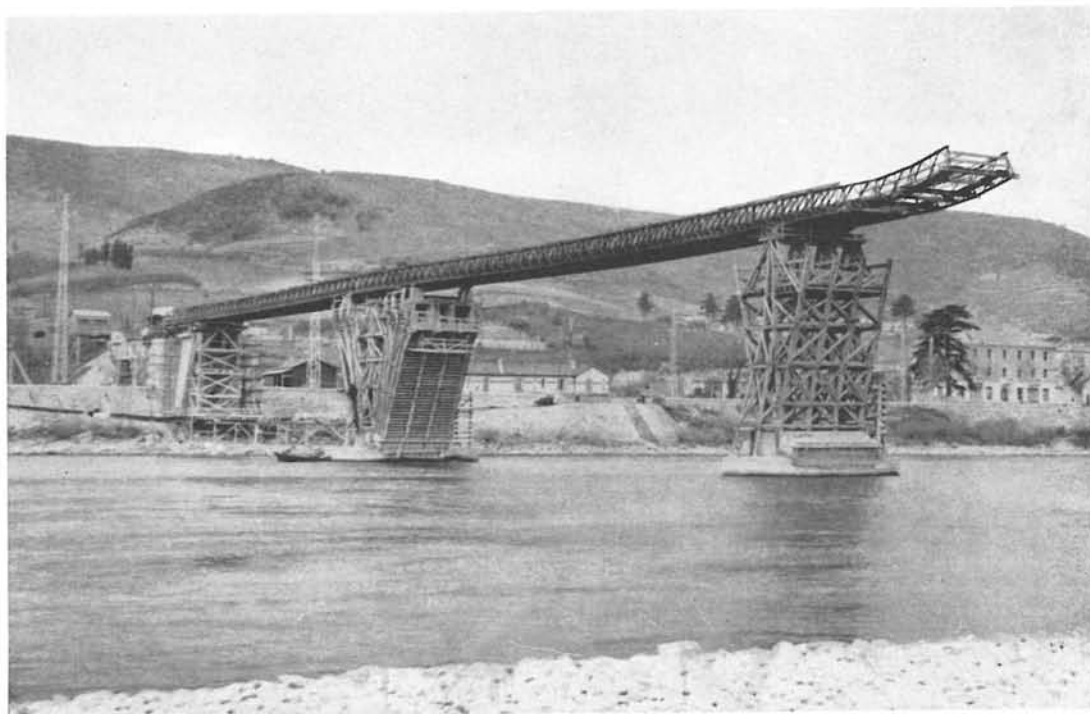


lámina XXVII

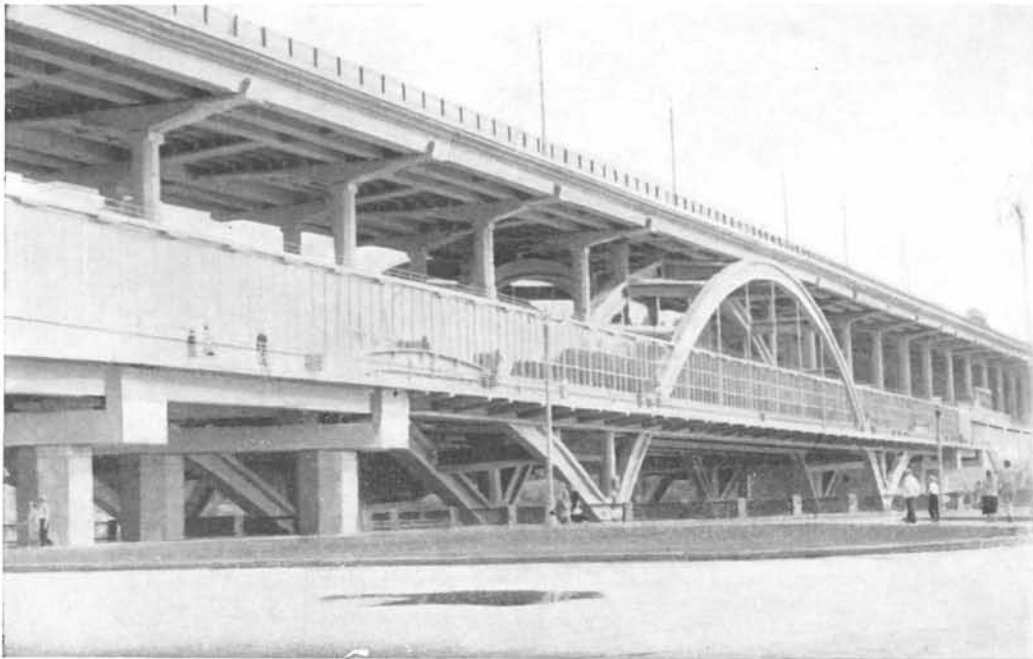


CONSTRUCCION
DEL PUENTE DE
LA VOULTE

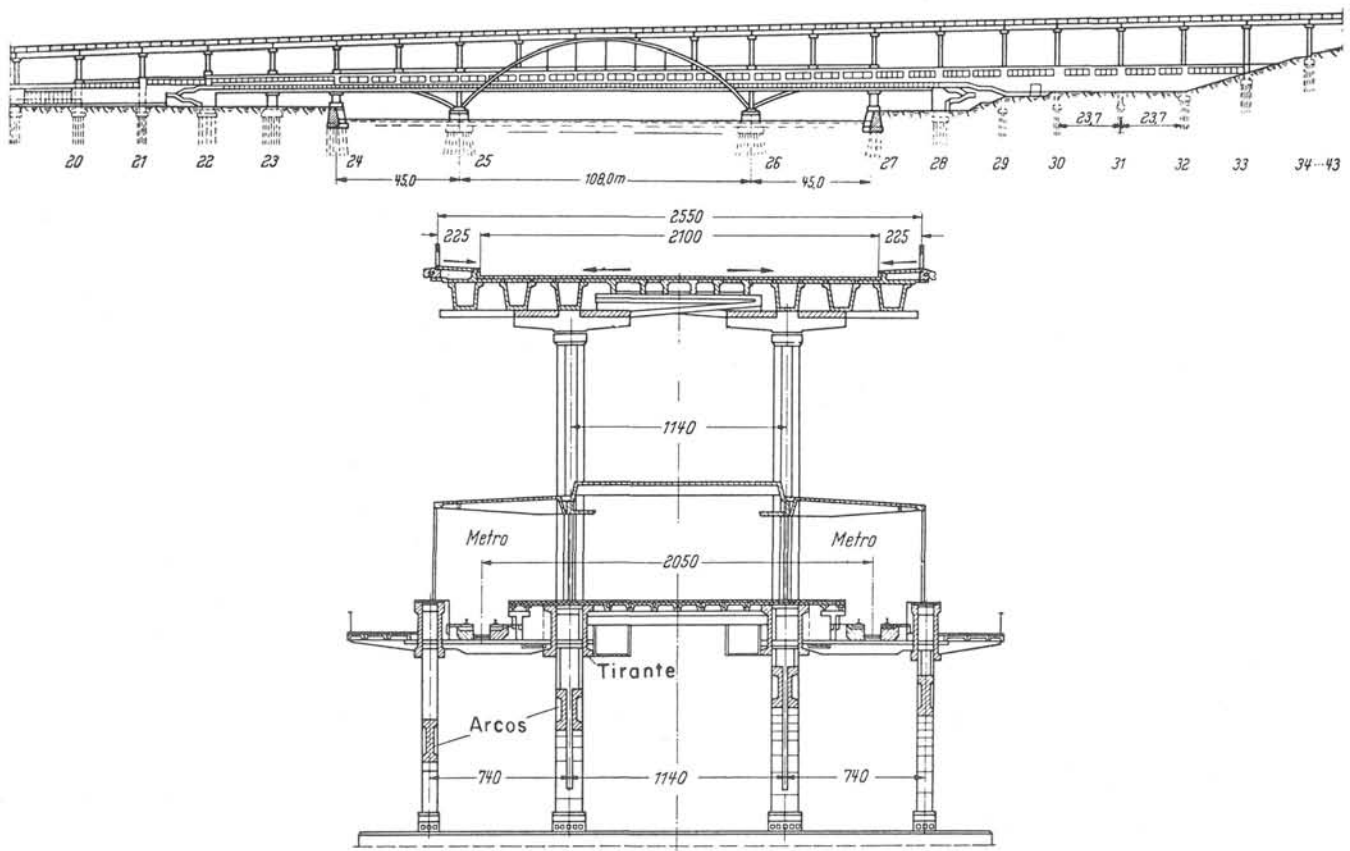
lámina XXVIII

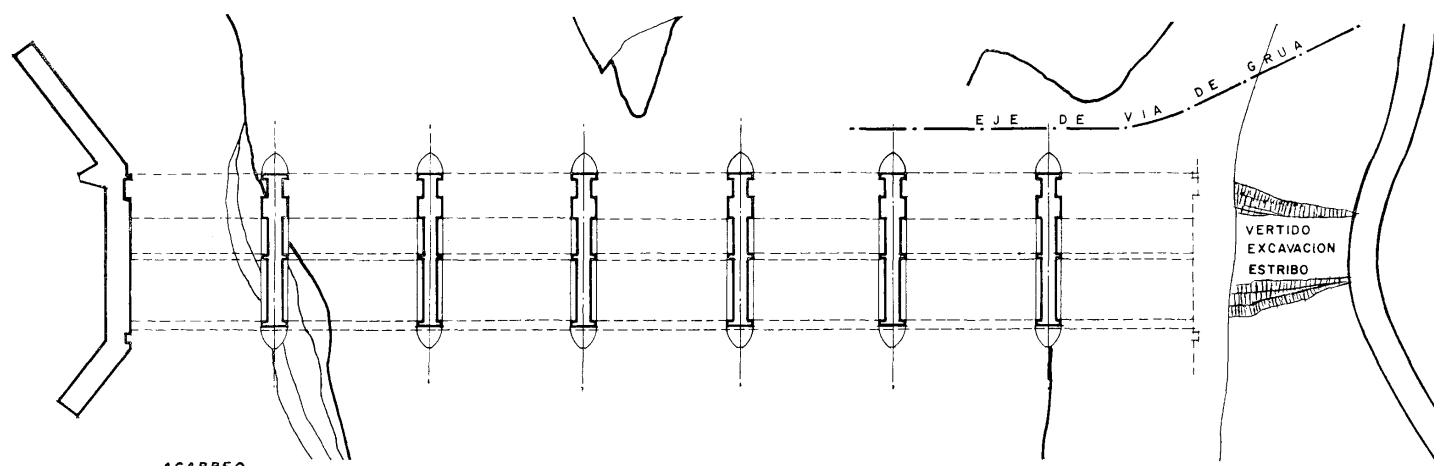


lámina XXIX

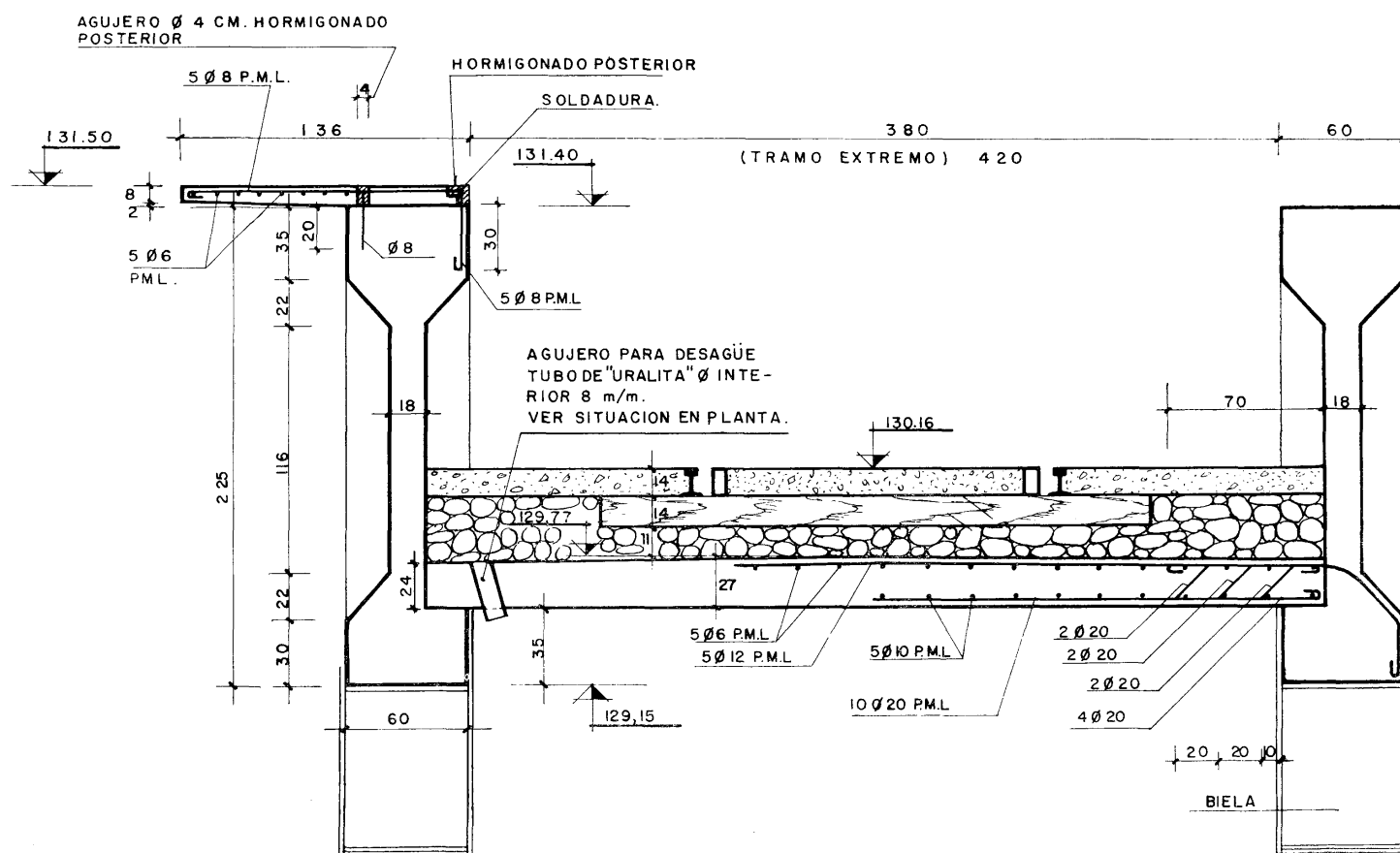


PUENTE DE LUCHNIKI
EN MOSCU SOBRE
EL RIO MOSCOVA

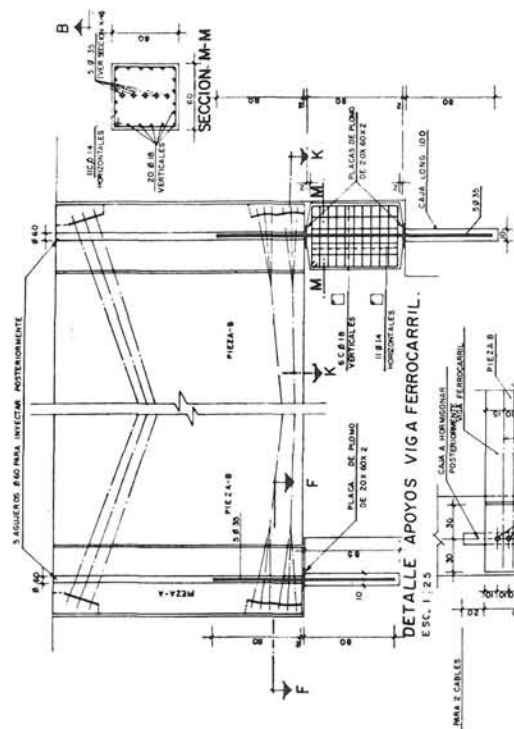
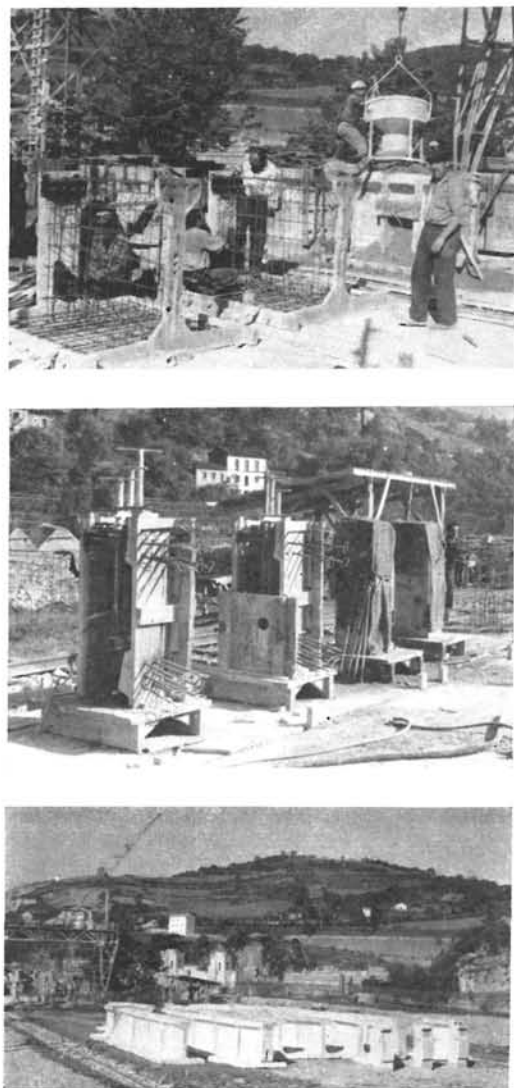




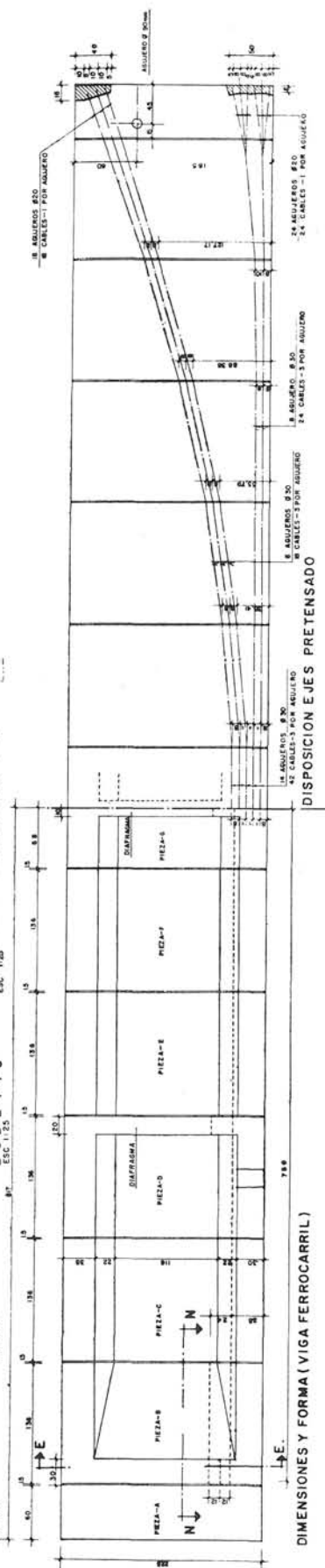
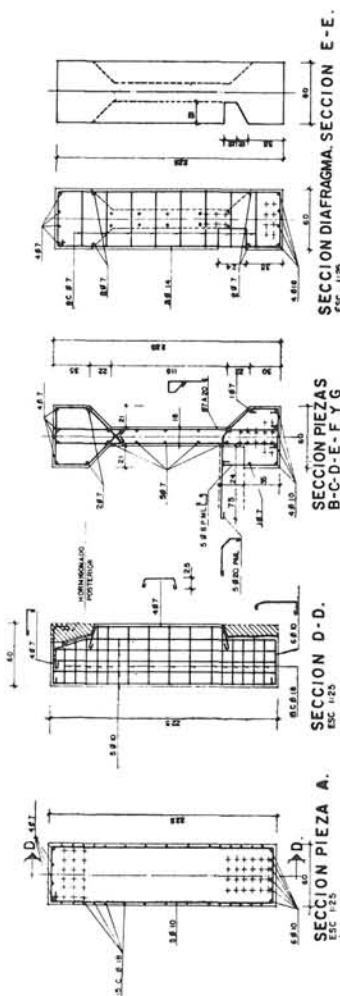
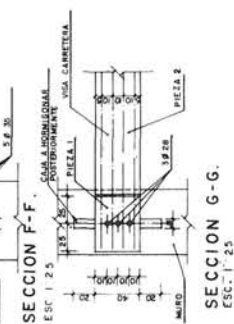
planta

 PUENTE PRETENSADO PARA FERROCARRIL
 CENTRAL TERMICA DE MIERES


sección transversal



PUENTE PRETENSADO PARA FERROCARRIL CENTRAL TERMICA DE MIERES



bibliografía

Los primeros puentes ferroviarios construidos en Suiza.—M. Ritter & P. Lardy.—Págs. 59-61.

En los años 1943-44 construyeron los ferrocarriles federales suizos una serie de pasos de ferrocarril sobre carretera que son los primeros puentes de hormigón pretensado bajo carriles.

Paso de Saland, ejecutado con fajas de losa premoldeadas en taller con tesado previo. El tablero de 4,90 se componía de seis piezas de 70 cm y unos pequeños voladizos. Las piezas se enlazaban transversalmente mediante redondos que las atravesaban y se ponían en tensión mediante tuercas en extremidades. El hormigón de 375 kg de cemento se calculó a 68 kg/cm². El acero en cables de 4 alambres de 2,6 mm. Tenía unas características de 115-165 y se tesó a 110 kg/mm² suponiéndose una tensión de servicio de 95 kg/mm². Coeficiente de seguridad a la fisuración 1,5 a la rotura 3,0.

Paso de la estación de Friburgo, ejecutado por el sistema Freyssinet con hormigón de 300 kg de cemento, se calculó a 80 kg/cm² timetro cuadrado y cables de 12 alambres de 5,5 m con características 103-137 que se supuso a 87,5 kg/mm².

Paso en la estación de Sierre, de construcción mixta con vigas construidas en taller por tesado previo de la armadura y hormigón armado normal para formar el tablero. Hormigón de 200 kg de cemento a tensión de servicio de 80 kg/cm². Acero en redondos de 7 cm salientes de 146-171, tesado a 110 kg/mm² y calculado a 89,50 kg/mm². Coeficiente de seguridad a fisuración y a rotura 1,5 y 2,5 respectivamente.

Paso subterráneo en la estación de Baden, construido con viguetillas pretensadas moldeadas en taller complementadas por tablero de hormigón armado normal moldeado en su sitio, formando conjunto monolítico. Hormigón de 375 kg de cemento para el pretensado y de 300 el normal trabajando a 50 kg/cm². Acero de alambres cuadrados retorcidos de 4,5 mm con características 110-150 tesado a 100 y trabajando a 78 kg/mm² coeficiente de seguridad de 1,8 a 3,0 a la fisuración y a la rotura respectivamente.

Puentes pretensados de tramos sencillos de losa en los ferrocarriles alemanes.—«Morsch».—Págs. 35-41.—11 figuras.

Se describen dos puentes construidos para la Deutsche Bundesbahn en pasos sobre calles y carreteras respectivamente.

El primero es el de paso de la calle Hohnstorf en Hamburgo, con 13,50 m de luz teórica y ancho total de tablero de 6,00 (aceros de 93 cm). Es una losa compuesta construida mediante ocho vigas prefabricadas de sección T invertida con 83 cm de altura en el centro y 55 cm en extremos, adosadas por sus cabezas inferiores de 65 cm y recrecidas «in situ», con hormigón hasta un espesor total de 105 en el centro. La superficie tenía pendientes longitudinales simétricas del 5 % para desagüe del balasto, superpuesto a una capa de grava que rellenaba las vertientes. Las cabezas inferiores de las vigas se pretensaron con 50 parejas de redondos de 10 mm pretensadas independientemente de perfil recto, con anclajes internos en una de las extremidades y embebidas en el interior por el otro lado. La armadura de alma de Ø de 8 ó de 10 cada 10 cm se prolongaba para empalmar con las de vigas inmediatas, cerrando la cara superior de la losa final. También se formaba otro enlace transversal mediante dos redondos de 26 cada 50 cm que atravesaban las almas de las vigas en su arranque. Se completaba la armadura con redondos longitudinales y cercos entre vigas.

Los estribos de 1,50 m de espesor se cimentan sobre pilotaje corrido a través de macizo de 2,30 m de ancho, y llevan las aletas solidarias con un voladizo de 9,55 m enlazándose las dos paralelas mediante dos diafragmas verticales de 30 cm de espesor que las atrirantan, fuertemente armadas para resistir los empujes transversales tipo silo que corresponden al peso de los trenes.

Fué construido en 1951 por Wayss & Freytag y A. Prien, con proyecto de la primera Empresa.

El segundo puente de Zuckerdamm, también en Hamburgo con 21,50 m de luz teórica y 20,0 de libre, sirve a vía sencilla cuyos carriles van directamente sobre el hormigón sin traviesas ni balasto. Tiene una anchura total de 7,45 m que se reduce mediante voladizos de 95 cm por ambos lados para pasos de servicio. El espesor en el centro es de 1,03 a todo lo largo del puente, pero en sección transversal tiene fajas longitudinales a ambos lados donde el espesor se eleva a 103 cm en 1 m de anchura.

El pretensado longitudinal se realizó mediante 135 cables de 23 toneladas de fuerza útil, que se agrupan en tres capas en la zona central y en ocho en las extremidades donde se anclan ocupando toda la altura de la sección. El pretensado transversal se hace a una altura de 32 cm sobre la cara inferior y a separación de 35 cm los cables tienen un perfil mixto, siendo rectos en una de sus mitades y curvos en la otra, subiendo a terminar en anclajes ciegos junto a la cara superior de las aceras. La armadura complementaria es de cercos de Ø 12 a 35 cm reforzándose cada tres con uno de 14 que sirve para sostén de la armadura longitudinal. Se construyó en 1953 por las mismas empresas que el anterior.

Losas de hormigón pretensado para puentes ferroviarios.—P. A. Berridge.—«Concrete & C. E.»—Septiembre 1954, págs. 283-8, 7 figuras.

Losas para formar tableros de puentes en combinación con vigas longitudinales de acero laminado, formando el forjado para soportar balasto, traviesa y vía. El montaje se hace sin soldadura ni andamio alguno, se colocan primero las vigas metálicas, después se montan las losas en elementos de 1,80 m de longitud haciéndose la unión mediante pasadores de acero de resistencia elevada pretensados que empalman placas metálicas dispuestas de antemano. En los primeros modelos, había que hormigonar un relleno «in situ», pero en los últimos se suprime esta operación.

Se llega hasta luces de 18 m variando la distancia entre vigas desde 3,78 a 4,77 m según la luz y el espesor de las losas en concordancia desde 70 a 75 cm. También cambia el ancho longitudinal de las fajas de losa de 1,75 a 2,07, siendo esta última dimensión la máxima que pueda transportarse en vagón.

Cada losa está limitada en bordes longitudinales por una U laminada de la misma altura que sirve de placa de anclaje y lleva soldadas dos aletas trapeciales que son las que se enlazan con otras aletas solidarias de las vigas. La inclinación de ambos elementos tiene mucha importancia, pues el enlace entre ambos se verifica por acufamiento entre ellas, siendo preciso que de un modo directo coincidan los agujeros para los pasadores de empalme y las losas queden en el nivel definitivo.

Las losas se pretensan mediante barras metálicas en dirección transversal, llevando una armadura longitudinal de acero normal. La mitad de las barras son rectas en la cara inferior y la otra, curvas, dando compresión centrada en las extremidades.

El hormigón con una relación agua-cemento 0,4 consolidado por vibración, tenía una resistencia de 630 kg/cm² a los 28 días y trabajaba a 175 kg/cm² en servicio. El tesado de las barras se hacía a los 28 días del moldeo, sometiéndolos a 66 kg/mm².

El estudio se hizo en las oficinas de Paddington de la Western Region de las British Railways.

Utilización del hormigón pretensado en puentes de ferrocarril en EE. UU.—L. P. Nicholson.—«Railways Tracks & Structures».

Diciembre 1958.—Separata de la Portland Cement Association.

El primer puente de hormigón pretensado en los ferrocarriles norteamericanos fué una losa de 6,10 m de longitud total premoldeada en dos mitades de 2,14 de ancho con espesor de 0,48 mm. El bordillo para contener el balasto se moldeó solidario de cada losa dando pendiente transversal para el desagüe con tubos verticales en puntos convenientes junto al bordillo. Se proyectó para la sobrecarga E-72 con impacto de la AEREA para la Chicago Burlington & Quincy terminándose en marzo de 1954.

Otra solución interesante es la de las losas con aligeramientos cilíndricos. Como ejemplo, el tablero de ferrocarril en el puente mixto de enlace de la isla Pelican con Galvestón. Consta de cuarenta y ocho tramos de losas de 7,62 de longitud cada una con anchura de 3,20 m, espesor de 0,81 aligerada mediante cuatro agujeros circulares de 50 cm de diámetro. Las losas se premoldearon en taller a 50 millas transportándose por camión y barcas. Se especificó la prueba de una de las losas hasta rotura, comprobando que no hubiera agrietamiento para los 90 % de la carga normal. Las primeras grietas aparecieron para un 20 % de carga sobre la normal no produciéndose la rotura para una carga superior a la prevista.

En 1957 se construyeron por la Southern dos puentes pequeños uno de tres y otro de tres vanos independientes también pre-moldeados en secciones de 0,74 m de ancho con luz de 8,20 m. La sección transversal es casi cuadrada con un aligeramiento circular de 0,38 de diámetro. Cada vano consta de 12 secciones y cada una está pretensada con 48 cables de 3/8". Se proyectaron para el tren E-60 con un impacto de 67 %. Se consideró la carga uniformemente distribuida en cuatro vigas.

Otra solución empleada es la de vigas de cajón rectangular citándose un paso sobre calle en Colton, Ca. para el ferrocarril de Santa Fe. Son dos tramos independientes de 10,62 m de longitud, integrados de 19 vigas con 1,22 de ancho por 0,96 de canto armadas con 44 cables de 3/8". Se enlazan entre sí mediante una barra de 1 1/4" (32 mm) en cada vano, favoreciéndose la transmisión mediante entrantes comunes que se rellenan de mortero seco apisonado. Se proyectó para la sobrecarga E 65 con un impacto del 60,8 %. Se impermeabilizó el tablero mediante una chapa de asfalto sobre una previa membrana bituminosa. Se construyó en 1954.

Otro ejemplar de este tipo se construyó en 1958 para la Chicago North Wester en Allouez, Wis. en un vano simple de 11,12 m de luz. Los elementos tienen 1,02 x 0,91 pretensados con 16 alambres de 7/16" en tesado previo y dos cables de 12 alambres de 7 mm en postesado. Se enlazaron transversalmente mediante cables postesados y se dispusieron entalladuras coincidentes para conseguir llaves rellenas de mortero seco. La superficie se impermeabilizó con tres capas de membrana impermeable y una chapa de asfalto.

El récord de puentes ferroviarios en USA corresponde al puente de la Academia del Aire en Colorado Springs para la línea Santa Fe, con dos tramos independientes de 43,90 m.

Puente de hormigón pretensado para ferrocarril cerca de Wigan (Inglaterra).—«Concrete & C. E.»—Octubre 1947.—Págs. 305-8.

Sustituye a un antiguo puente de madera de cuatro luces de unos 9 m de luz, habiéndose hecho la sustitución sin alterar el tráfico, utilizándose los fines de semana. La Railway Company tenía una experiencia de 25 años en el empleo de elementos pre-moldeados de hormigón armado en competencia con soluciones metálicas. El menor coste inicial, menos conservación y menor período de vibración hace ideal esta solución de hormigón armado frente al acero o madera. En los primeros puentes de luces pequeñas se montaban fajas de losa y no se manejaban pesos superiores a 10 toneladas. Desde 1924 se empezaron a utilizar vigas T montando cuatro o cinco adosadas para cada vía. En el año 1934, con grúas mucho más potentes se consiguió llegar hasta luces de 12 m, pero tenían el inconveniente de que el canto resultaba grande y en muchas ocasiones no cabía en la altura disponible.

Teniendo en cuenta la experiencia adquirida por el Ministerio de War Transport en la sustitución de puentes destruidos con elementos pre-moldeados pretensados, la Compañía decidió continuar su experiencia de montaje de elementos pre-moldeados, pero pasando a pretensado que permite menores dimensiones, es decir, menor peso y menor altura perdida por canto de vigas.

El tablero se organizó en seis vigas pretensadas por vía, más dos en cada andén, todas de 81 cm (32") de canto con alma variable desde 10 cm en el centro, aumentando a partir de los tercios de la luz hasta los extremos. Las cabezas son de 32 y 40 la superior e inferior, respectivamente, dejando pequeña junta entre aquellas que se rellena con mortero seco. El pretensado de las vigas se lleva a cabo con alambres de 5 mm, resistiendo 140 kilogramos/cm². El enlace transversal de los mismos con redondos de 32 mm que atraviesan las aletas superiores y se anclan roscados en sus extremidades. El hormigón era de una resistencia a rotura de 280 kg/cm² con relación agua-cemento de 0,45 y se consolidaba por vibración.

Las vigas se fabricaron en Lancashire y se transportaron por ferrocarril. Se sustituyeron los pilares de madera por pilares de hormigón, disponiendo un tablero provisional metálico antes del cambio. Ejecutados los apoyos se procedió a un cambio gradual del tablero provisional por las vigas de hormigón, utilizando los fines de semana. Las grúas eran lentas y tardaban en colocar una viga 10 minutos. Cuando todas las vigas de un tramo estaban colocadas se pasaban los tensores de cabezas superiores y se inyectaban los conductos. La vía se colocó sobre balasto.

Se probaron dos vigas en sandwich con carga central mediante gato que las sometió a 26 1/4 t, lo que equivale a su carga de trabajo, más el 50 %. La flecha suma de ambas fué de 2,8 cm sin flecha residual y sin que se observara agrietamiento durante la prueba.

Se construyó en el año 1947 con proyecto de W. K. Wallace y de la Prestressed Concrete Co.

Viaducto para ferrocarril de hormigón pretensado en Barmouth (Inglaterra).—«Concrete & C. E.»—Diciembre 1952.—Págs. 385-387, 3 figuras.

Sustituye a un puente de madera y consta de seis vanos de 12,19 m de luz soportados en pórticos sencillos transversales de

hormigón armado. Excepto los pilares de estos pórticos de 0,90x0,90 chapados con placas de hormigón bujardeado, los demás elementos fueron prefabricados.

Cada vano consta de 12 vigas sección doble T de 66 cm de altura y 41 cm de ancho. Sobre las vigas externas se coloca un plinto de 30 cm en el cual se empotra la barandilla. Van pretensadas con cinco cables Freyssinet en cada vano tesados a 27 t. Se moldearon en moldes de madera formando los conductos longitudinales mediante tubos de caucho dilatables y los transversales con tubos de metal apoyados en los moldes. Los apoyos en extremidades se disponían mediante placas convexas solidarias de las vigas que se encajan en otras cóncavas de la misma superficie dispuestas en los apoyos intermedios y estribos.

Se probó una viga de cada cuatro en taller por medio de gatos hidráulicos que las sometían a la carga de servicio con el equivalente de impacto y además con vez y media el efecto total de la sobrecarga, siendo las flechas inferiores a 1,05 y a 1,80 cm, respectivamente. La flecha teórica en servicio era de 1,25. Se examinaba con lupa la cara inferior para comprobar que no existían grietas al aplicar las cargas.

Los elementos pre-moldeados se manejaban con grúas sobre vagon, siendo el peso máximo 10 toneladas. El montaje se hizo con la mínima perturbación en el tráfico ferroviario, para lo cual en un fin de semana se montaron tres vanos, sin el pretensado transversal, que se sustituyó por unas barras de acero normal roscadas en sus extremos que se aplicaron contra placas de anclaje en los paramentos de las vigas exteriores. Se dispuso una vía provisional para enlazar con la de los tramos de madera restantes, esperando hasta el próximo fin de semana, en el cual se montaron los tres tramos que faltaban. En el intervalo se iban sustituyendo los tensores provisionales por cables de pretensado transversal.

Se construyó en el año 1952 por los British Railways de la región Oeste con proyecto de Mr. G. R. Smith.

Dos puentes pretensados para ferrocarril en Inglaterra.—«Concrete & C. E.»—Enero 1958.—Págs. 48-50, 5 figuras.

Son dos pasos sobre carretera en un nuevo enlace ferroviario de diversas factorías del National Coal Board, en las proximidades de Northumberland. Son de análoga estructura, con luces diferentes 11,60 y 18,0 m, construidos mediante vigas pre-moldeadas sección doble T simétrica que se colocaron adosadas, asegurando la solidaridad mediante pretensado transversal.

El puente más corto se compone de 18 vigas con 66 cm de altura y 45 cm de ancho pretensadas con cinco barras de 28,6 mm, sistema Macallay, que daban una comprensión longitudinal de 32 1/4 toneladas. Una vez colocadas todas las vigas interiores se pasaron dos barras transversales enlazándolas y se aplicó un esfuerzo de 12 t a cada una. A continuación se adosaron las dos vigas exteriores y el parapeto.

En el punto más largo existen veintidós vigas con altura oscilando entre 1,07 y 1,15 m con anchura de 37,5 cm y pretensadas con seis barras Macallay de 28,6 mm montadas y enlazadas por el mismo procedimiento.

La resistencia exigida al hormigón fué de 490 kg/cm² a 28 días y 350 al momento de pretensar. El taller de pre-moldeado se instaló en las proximidades de uno de los puentes y mediante curado de vapor se obtuvo una resistencia de 350 kg/cm² a las 16 horas. Se tesaron previamente un cierto número de barras para poder mover las vigas hasta el almacenamiento, haciéndose después el tesado definitivo.

Se interrumpió el tráfico en la carretera mientras se montaba el puente correspondiente, durando esto solamente 36 horas en el puente mayor.

Los estribos sirven de muros de contención del terraplén y previendo posibilidad de asiento de dichos elementos todas las vigas longitudinales quedan enlazadas por sus extremos mediante vigas transversales que pueden elevarse con gatos hidráulicos que se situarán en unas cajas dejadas ya en el cuerpo de los estribos debajo de las vigas.

La construcción se llevó a cabo en el año 1957 por la Empresa Holloway Brothers, costando en total 22.000 libras.

Puente de hormigón pretensado para ferrocarril sobre el río Leen cerca de Badiford.—«Concrete & C. E.»—Enero 1955.—Páginas 42-45.

Corresponde al ensanchamiento de un puente en la línea Nottingham-Mansfield para la habilitación de una nueva vía. Cruza el río con una luz oblicua de 18,30 a 17° y es de tablero inferior, con vigas separadas a 3,65 m entre ejes.

Las vigas principales de sección doble T asimétrica con altura de 1,85, cabeza superior de 0,70 m y alma de 22,5 cm. Un forjado de losa pretensada de 25 cm enlaza las vigas en plano inferior.

Se pretensaron las vigas principales por el sistema Magnel Blaton, utilizándose tres cables por viga. Dos son rectos y van

en la cabeza inferior, con 40 alambres de 7 mm, el tercero curvo con 32 alambres. La losa se pretensó transversalmente mediante cables Freyssinet de 12 alambres de 5 mm cada 30 cm.

Se hormigonó en su sitio con hormigón traído de taller de una resistencia de 420 kg/cm² a 28 días, consolidándose por vibración interna. Se realizó en tres etapas: mitad del tablero con cabezas inferiores de las vigas, segunda mitad y resto de las vigas principales.

Puente ferroviario sobre la calle de Miroir en Bruselas.—G. Magnel.—«Hormigón Precomprimido».—Pág. 371.

Es el primer puente de hormigón pretensado para ferrocarril que se ha construido en el mundo. Se trata de un paso sobre calle de los enlaces ferroviarios de Bruselas y se autorizó a construir el tablero de 20,07 m de luz en varias fajas de 3,65 m de ancho para experimentar comparativamente hormigón armado normal, hormigón de armadura Isteg o Toristeg y hormigón pretensado. Los espesores del tablero fueron de 1,85, 1,85, 1,24 y 1,15, respectivamente, y el coste del postesado respecto del normal, 0,85. Se hicieron dos tableros con árido rodado y machacado, tomándose todos los datos de granulometría, resistencia, temperaturas del ambiente, del hormigón, coeficientes dinámicos, flechas de desencogido, inclinaciones, etc.

Cada tablero se armó con 29 cables de 56 hilos de 5 mm, de los cuales la mitad rectos en la cara inferior y la mitad se levanta en las extremidades para anclarse de modo conveniente.

Como se trataba de un puente primero y experimental, se tomaron medidas muy prolijas y se llegó a la conclusión de que se dominaba el material, el sistema y de que el hormigón pretensado tenía un comportamiento más claro y simple que el del hormigón normal. Su resistencia al agrietamiento era doble que la del hormigón normal. El espesor obtenido era mucho más reducido, lo que es muy importante en casos de altura estricta y la cantidad de acero muy reducida, lo que tiene interés en la economía nacional con respecto a materias primas.

El puente ferroviario Niers en Colonia, sobre el canal de Colonia Kleve, de losa celular de hormigón pretensado.—«Mürsch».—Páginas 39-41, 2 figuras.

Salva un vano de 20,75 de luz teórica con oblicuidad, desintegrándose en dinteles independientes para cada una de las dos vías. El ancho total del tablero doble es de 9,75, teniendo dos aceras útiles de 90 cm y una anchura de balasto común de 7,05 m.

Cada uno de los dinteles consiste en un cajón rectangular de 1,18 m de altura (1/20 L) y 2,80 de ancho, con espesores de 35 cm en fondo, 48 cm en paredes y 35 en losa superior, que se prolonga por el interior con el mismo espesor y por el exterior formando acera con 28 cm. Existe un diagrama transversal en el centro y en las extremidades se maciza el cajón para alojar los anclajes típicos del sistema Buur'Leonhardt. La fuerza total de pretensado fue de 2.050 toneladas por cajón en bucle completo dentro de los tabiques verticales.

El pretensado transversal se llevó a cabo en la losa superior con cables ligeramente curvos de 12 Ø 5,2 y una fuerza útil de 23 toneladas.

La armadura transversal complementaria tenía que absorber la deformación transversal del hormigón, a consecuencia del gran esfuerzo longitudinal del pretensado.

La superficie superior del tablero se dispuso con pendientes en pirámide hacia cuatro puntos intermedios para asegurar el desagüe del balasto.

Puente ferroviario sobre el Wupper en Küppersteg en la línea Colonia-Durseldorf.—E. Ernst.—«Die Bautechnik».—5 mayo 1952, páginas 128 a 129, 2 figuras.

Puente de un solo vano en tramo sencillo de 21,4 m de luz para doble vía con seccionamiento longitudinal, de modo que cada vía va sobre un tablero de sección de 2,30 m de altura, losa central de 37 cm, colando a ambos lados 1,25 de las vigas externas. La distancia entre vigas de un tablero es 1,60 entre paramentos interiores, su ancho es 65 cm, que aumenta ligeramente en extremidades, separándose las adyacentes de ambos tableros 1,10 m.

Cada viga lleva una armadura de pretensado formado por 34 barras de 26 mm, acero 90, sistema Diwidag, que van en capas de cuatro en perfil curvo, llegando 16 a las extremidades y anclándose las restantes en puntos intermedios de la cara superior.

El puente ferroviario de la Air Force Academy, en Colorado Spring, record de luz en puentes pretensados de f. c. de EE. UU.—«Railways Tracks & Structures».—Enero de 1958.

Se trata de un paso sobre las vías de acceso a la Academia del Aire en Colorado Spring, con dos tramos independientes de 21,33 m de luz, para una sola vía de ferrocarril. Se proyectaron para la sobrecarga E-72, con un coeficiente de impacto del 60,8 %.

El tablero se organiza en cuatro vigas premoldeadas de 1,70 m de altura con sección, en doble trapecio, cuyas bases menores se enlazan en espesor de 20 cm creciendo luego a 0,90 m en cabeza superior y 0,66 en inferior. Las vigas están a una separación de 1,22 metros y se enlazan por la cabeza superior embebiéndose en una losa «in situ» de 25 cm de grueso. Se pretensaron mediante 11 cables compuestos de 16 alambres de 1/4".

La resistencia exigida al hormigón fué de 385 kg/cm² a los 28 días, realizándose el pretensado con tensión máxima de 175 kg/cm² cuando la resistencia era de 315 kg/cm².

Las vigas se premoldearon en obra y se elevaron mediante grúa sobre ruedas.

Puente de hormigón pretensado para ferrocarril y transportador de carbón.—Concrete & C. E.—Enero 1954, páginas 35-38, 5 figuras.—«The Engineer», 25 septiembre 1953, página 404, 2 figuras.

Paso sobre carretera de 22,50 m de luz, tramo simplemente apoyado para ferrocarril ligero y dos transportadores de cuenca de carbón en una factoría de la National Coal Board. Como no se permitía transportador elevado se colocaron debajo del ferrocarril formándose un cajón con los dos tableros superpuestos y las vigas de sección doble T en los costados, con una altura libre en el interior de 1,50 m. El ancho interior del cajón es de 5 m y el del tablero superior 7,42. Para causar la misma perturbación en la carretera se prefabricó la mayor parte de los elementos estructurales.

Las vigas tienen una altura de 1,75 m, con una contraflecha de 5 cm y alma de 10 cm en el centro, creciendo hasta 30 en los extremos. Cada una se pretensó con seis cables Freyssinet de 12 alambres de 5 mm. Se premoldearon en tres trozos en su sitio sobre los estribos y dos soportes provisionales de madera, dejando juntas de unos 2 cm que se rellenaron con mortero seco en proporciones 1:1. Cuando endureció suficientemente se procedió al tesado de cables e inmediatamente después a la inyección.

Después se procedió a formar el tablero inferior con elementos en U de 1,35 m de ancho, apoyado en rebordes de la cabeza inferior de las vigas, en los cuales se colocaban cables transversales que iban a anclarse en las cabezas inferiores de las vigas pasando por agujeros existentes en éstas. Se rellenaban los canales de los U y se recrecía el tablero con 5 cm de hormigón, en cuyo espesor se alojaban 5 cables longitudinales que se pretensaban al final.

El tablero superior en losa de 23 cm se hormigonaba «in situ» enlazándose a las vigas mediante hierros de anclaje que se habían dejado en ellas, y además se limitaba el ancho de apoyo con placas comprensibles a ambos lados de estos anclajes dejando una tira de 10 cm en la que el hormigón quedaba en contacto directo con el de las vigas. Se armaba con cables transversales a 20 cm, que se disponían en horquillas para disminuir a la mitad el número de puntos de anclaje.

Al final se moldearon las aceras que volaban de las cabezas superiores de las vigas, para lo cual éstas llevaban solidaria la armadura de acero normal correspondiente al vuelo de 1 m. Estas aceras quedaban más bajas que el tablero del ferrocarril. La vía se montaba directamente con traviesas sobre dicha losa.

Las articulaciones del tramo eran bielas y articulaciones fijas tipo Freyssinet.

El hormigón para pretensar era del tipo 1:1, 1/2:3, con cemento Portland normal, consolidado por vibración con una resistencia de 280 kg/cm², con tensión nula en la fibra opuesta.

Se probó a rotura una faja de la losa del tablero superior con un ancho de 1,60 m bajo la acción de dos cargas concentradas a la separación de carriles. Se midieron flechas en el centro y sobre los apoyos y deformaciones unitarias en cuatro puntos del espesor de la losa en sección central. Se cargó por incrementos de 4 toneladas tomando lecturas de los aparatos. El pretensado dió como resultado una flecha ascendente de unos 3 mm. La flecha para la carga de servicio 14 toneladas era de unos 5 mm. La carga máxima fué de 36,8 toneladas con una flecha de 5,6 cm. A la segunda aplicación de esta carga la flecha subió a 7,5 cm con un remanente de 1,5 cm.

Se construyó en el año 1953 con proyecto de la Prestressed Concrete Co. por la Empresa Fletcher and Co.

Puente de hormigón pretensado para ferrocarril en Staffordshire.—«Concrete & C. E.»—Enero 1954, páginas 51-52.

Salva un canal en Bilston y sirve una factoría metalúrgica para paso de ferrocarril que conduce escorias de hornos. La luz teórica es 23,60 m y la libre 22,40, sirviendo a una sola vía. Es tablero inferior entre dos vigas de 2,10 m de altura, que dejan un ancho libre de 4,60 m.

Las vigas laterales tienen sección doble T, con un ancho de alma de 17 cm y anchura de cabeza superior de 0,69 m. La losa del forjado tiene un espesor de 25 cm en zona central y se enlaza a las vigas con acartelamientos rectos. El alma se refuerza en las extremidades y en siete secciones intermedias.

Las vigas se pretensaron mediante 18 cables cada una, situados en la cabeza inferior y zonas de acartelamientos de la losa, de los cuales ocho son curvos. Otros ocho cables longitudinales se alojaron en la parte recta de la losa. Esta se pretensó además transversalmente con cables a 17,5 cm de distancia. Los cables son Freyssinet de 12 alambres de 5 mm.

Se moldeó primero toda la losa hasta el alma de las vigas sin junta transversal y después el alma y cabezas de las vigas, dejando junta horizontal en zona donde el esfuerzo cortante no es de consideración.

Se le dió una contraflecha de 5 cm al tablero, aunque la flecha ascendente debida al pretensado era insignificante. Los aparatos de articulación móvil son placas de deslizamiento engrasadas, comprobándose que funcionan perfectamente para el acortamiento de pretensado que fué el calculado de unos 3 mm.

El puente fue construido por Tarmac en el año 1953, por un costo total de 8.000 libras.

Puente para ferrocarril de hormigón pretensado para el paso sobre la calle Mannheimer en Kaiserlautern.—«Morsch».—Págs. 116-118, 2 figuras.

Salva un vano de 32,40 m de luz teórica y sirve a ferrocarril doble vía con tableros separados de 5,25 m de anchura cada uno y está dispuesto en una curva con oblicuidad de 66°. El tablero es recto, pero la plataforma de cada vía está dispuesta con el peralte correspondiente y además con pendientes para desaguar el balasto interiormente hacia dos puntos al cuarto de la luz desde donde se dispone tuberías hasta el pie del estribo.

Cada uno de los tableros se organiza en dos vigas de 2,70 m de altura variable enlazadas por forjado superior de 35 cm, que vuela 85 cm hacia el exterior formando acera y 55 cm hacia el interior. El espesor del alma es de 50 cm, con un ensanchamiento en cabeza inferior de 80 cm. Se enlazan por diafragmas transversales, dos en el centro y dos en los extremos perpendiculares al eje longitudinal, aunque los aparatos de apoyo se desplazan con la oblicuidad quedando individualmente bajo las extremidades de las vigas longitudinales. Para evitar torsiones que puedan producirse en la transmisión de las acciones, las articulaciones son de placas en contacto para la fija y de rodillos para la móvil.

Cada viga se pretensa con 66 cables de 23 toneladas en ocho capas, sumándose además doce barras de 52 mm de acero 160 sin tesar. Las tensiones admisibles impuestas por los ferrocarriles alemanes eran de 148 kg/cm² en cabeza inferior, para carga permanente y pretensado sin pérdidas, y una reserva de compresión de 20 kg/cm² de la misma cabeza, para la sobrecarga más desfavorable. Los cables se combinan para no llevar todos a las extremidades, anclándose una parte en la cabeza superior del tablero. La armadura de alma consiste en cercos de 10 mm a 50 cm en la zona central y de 12 a distancias de 16 a 22 cm en ciertas zonas donde los cables curvos dan esfuerzos cortantes desfavorables.

El tablero se pretensó con cables de 25 toneladas a separaciones de 20 a 25 cm con perfil ligeramente curvo, existiendo una armadura de acero normal de Ø 10 formando emparrillados de 20 a 25 cm de malla. Las vigas transversales se armaron con 3 Ø 20 en cara inferior.

Se construyó en el año 1953 por Ways & Freytag con proyecto propio.

Puente ferroviario de hormigón armado en Rotherham (Inglaterra).—«Concrete & C. E.».—Enero 1953, página 19.—«The Engineer».—12 diciembre 1952, páginas 805-6, 7 figuras.

Salva el río Don en Rotherham y con sus 43,80 m de luz parece ser el de mayor luz construido hasta entonces en todo el mundo. Enlaza instalaciones ferroviarias industriales de las dos orillas del río. La violencia de las avenidas obligó a un solo vano, y las condiciones de rasante a altura estricta, por lo cual se adoptó el tablero inferior entre vigas parapeto.

Las vigas principales tienen altura variable desde 3,81 en centro a 2,74 en apoyos, con sección doble T, cuya cabeza superior tiene 1,22 m de ancho y el alma 23 cm. Las cabezas inferiores forman resalto en 90 cm con la losa del tablero que tiene un espesor de 27 cm. Existen nervios de refuerzo en almas de las vigas y losa inferior cada 3 m.

Las vigas y losa inferior se pretensaron por el sistema Lee Mac Call, empleándose 28,4 toneladas de acero especial. La armadura de acero normal pesa 12 toneladas distribuida principalmente en armadura transversal. Longitudinalmente se dispusieron 86 cables en cabeza inferior de vigas y a lo largo del forjado. Transversalmente se dispusieron en éste barras de 26,6 a 22,5 cm de separación.

Las tensiones máximas de trabajo en las vigas son de 130 kg/cm² en fibras extremas sin tracciones y una tensión principal oblicua de 10 kg/cm² en tracción.

En las losas las tensiones de servicio son de 113 kg/cm² en compresión para sobrecargas máximas y una tracción de 4,5 kg/cm² con carga permanente sola. El hormigón había de tener una resistencia de 438 kg/cm² a los 28 días, obteniéndose medias compren-

didadas entre 490 y 560. La relación agua-cemento fue de 0,38, excepto en las cabezas inferiores de las vigas donde se elevó a 0,42 para penetrar entre los conductos de goma de la entubación.

El hormigonado se hizo en seis etapas, cortando por juntas verticales y dejando juntas que se hormigonan después de pasar las barras. El tesado de éstas se hizo a los siete días de hormigonar las juntas y después de inyectaron los conductos por ambas extremidades.

Puente ferroviario de hormigón pretensado sobre el Escalda, en Chercq.—Información de la Société Nationale des Chemins de Fer Belges.

Es el puente ferroviario de mayor luz en Bélgica y con sus 49,02 m de luz teórica es uno de los más importantes que se han construido hasta el día. Sirve a vía sencilla de ferrocarril de 1,50 m, teniendo la plataforma una anchura total de 6,50 m con dos pasarelas de un metro. El tramo central queda flanqueado por dos tramos independientes de 10 metros.

La sección del dintel es de cajón bicelular, con cabeza superior que corresponde al tablero de 34 cm, prolongándose en voladizos simétricos de 1,25 m, con disminución de espesor hasta 20 cm. El cajón es de contorno trapecial, con los dos tabiques inclinados y el central, vertical, de 20 cm, con una altura libre de 1,95. Como el espesor de la losa de fondo es también de 20 cm, la altura total de la viga es de 2,49, que se mantiene constante en todo el vano. La base inferior tiene 3,20 m de ancho.

Existen once diafragmas transversales que dan rigidez transversal, y además las extremidades se macizan aumentando paralelamente el ancho del trapecio, que llega a tener en la base menor 3,80 m.

La armadura complementaria de acero dulce está constituida por redondos de 10 y de 12, formando emparrillados en las dos caras.

Los tramos laterales que se apoyan directamente sobre el central, rebajado a media altura, son de tablero de cuatro vigas premoldeadas, sección doble T asimétrica con 76 cm de altura, que soportan un forjado «in situ» de 25 cm de espesor, que vuela simétricamente por ambos lados, ya que las vigas están a 1,25 m de separación entre ejes.

Los pilares de apoyo del tramo central están constituidos por dos pilares de 3,85 m de altura, enlazados en cabezas, pies y a media altura, y van cimentados sobre pilotaje.

Puente ferroviario de hormigón pretensado sobre el Erft en Enskirchen.—E. Ernst.—«Bautechnik».—5 mayo 1952, páginas 128-130.

Puente de dos vanos de 13,25 m, con tramo continuo para ferrocarril de cinco vigas, reemplazando a un puente de bóvedas de mampostería destruido durante la guerra.

Cada una de las vigas lleva tablero independiente de 4 m de anchura en cinco vigas de altura variable en intradós curvo, que se enlazan superiormente por una losa superior de 19 cm, que es también curva, con objeto de obtener excentricidades convenientes con cable recto.

El pretensado es de sistema Magnel, con un mazo por viga de 136 alambres de 5 mm en 34 capas de 4 alambres en conductos de 40×6 cm². Como ya hemos indicado se trata de pretensado con cables rectos y directriz curva, de modo a tener el cable virtual lo más próximo a cabeza superior en la sección del apoyo central y lo más bajo posible en zonas extremas. Para conseguir la plataforma horizontal, aunque con pendientes de desagüe, que diera uniformidad de espesor del balasto, se rellenó la zona inmediata al apoyo central con hormigón pobre.

Para comprobar el comportamiento del sistema a efectos dinámicos se probó una viga de 10 m con características análogas a las del puente, sometida a cargas alternativas en número capaz de producir la fatiga del material. Después se sometió a carga estática hasta rotura, estudiando el agrietamiento.

Puente de la calle Otis para el ferrocarril metropolitano de Berlín en paso superior.—«Spannbetonbauten in Berlin».—págs. 46-47, 8 figuras.

Puente de dos vanos continuos de 20,48 y 14,50 metros de luz duplicado para vías independientes con ancho total de plataforma 4,73 metros.

Cada dintel se organiza en dos vigas de altura ligeramente variable desde 1,10 m en extremidades a 1,21 m sobre el apoyo intermedio. Se pretensó por el sistema Beton-und Monierbau con cables de capacidad nominal 22,6 y 37,6 toneladas de nueve alambres de 4,2 mm con protuberancias características 145/160 kg/mm².

La longitud total de cables, 55.000, habiendo una armadura complementaria de 12 toneladas. El volumen de hormigón en dintel, 180 m³, de calidad B 450.

Se ejecutó por la Empresa Beton-und Monierbau en el año 1956 con un presupuesto total de 508.000 DM.

Puente pretensado para ferrocarril sobre el canal del Neckar en Heilbronn.—E. Kleff.—«Beton und Stalbetonbau».—Julio-agosto 1951, págs. 145-150 y 180-184.

Es el primer puente para ferrocarril construido en Alemania (1950-51) de cinco vanos continuos: 20, 80-18, 15-2×21,57-19,60 m con una oblicuidad de 58° 18' y altura media de 1,10, es decir, alrededor de 1/20 de la luz y un ancho de unos 35 m, dividido en dos por junta longitudinal.

Es de losa de altura constante con aligeramientos rectangulares que dejan un empujamiento de viguetas longitudinales de 50 cm de ancho y transversales en dirección oblicua de 40 cm, enlazadas por un forjado superior de espesor constante de 35 cm e inferior variable entre 25 y 40 cm.

El pretensado se llevó a cabo por el sistema Baur-Leonhardt, con cables continuos en los cinco vanos con curvaturas contrarias pasando de zonas centrales inferiores a zonas superiores sobre los apoyos. Los paquetes de cables se canalizan por los tabiques longitudinales en cajas de 17,5 × 17 cm², componiéndose los interiores de 396 cables de 7 alambres de 7,5 mm. Por precaución de la Bundesbahn, ya que era el primer puente ferroviario que se construía, se limitó la tensión de servicio del acero a 85 kg/cm², aunque se trataba de un acero de 180 kg/mm² de resistencia a rotura.

El pretensado transversal se hizo con barras del sistema Diwidag de 26 mm de diámetro separadas de 20 a 40 cm, según las zonas, alojadas en losas superior e inferior, dando una compresión uniforme de 30 kg/cm².

Los tabiques se armaron además con cercos de 12 ó 16 mm a 15 ó 20 cm y las losas con emparrillados en zig-zag de Ø5 a 20 × 30 más algunas barras aisladas de 10 y 12 mm.

El hormigón de 325 kg de cemento tenía una resistencia de 550 kg/cm² a los 28 días. La compresión máxima de cálculo resultó 134 kg/cm² y la mínima 1,2 kg/cm². La máxima tensión cortante fue de 7 kg/cm².

El proyecto fue de F. Leonhardt y en la construcción intervinieron varias Empresas.

Como la rasante era horizontal se dieron inclinaciones a la superficie del tablero en pirámides con inclinaciones hacia los puntos de desagüe variando el espesor total entre 1 y 1,22 m. El espesor de balasto es de 35 cm.

La cimbra se apoyaba únicamente sobre las cimentaciones de los pilares del puente y sobre unos pilares a mitad de los vanos. El hormigonado se llevó a cabo con independencia en cada vano desde la sección central hacia los extremos y de un modo simétrico, dejando además cortes de un metro de ancho en dichas secciones, para rellenar posteriormente. Para evitar agrietamientos por retracción y variación de temperatura, se procedió a un tesado previo de los cables a los pocos días de hormigonar de 26 kg/mm², aproximadamente la cuarta parte del definitivo. Este se llevó a cabo entre los 25 y los 31 días de edad del hormigón, desde las dos extremidades y simultáneamente en el ancho con 56 gatos y bombas hasta 463 atmósferas. El tesado de los cables en extremidades fue de 96,50 kg/mm², comprobándose en el apoyo central una tensión de 81,50 kg/cm². Se rebajó la presión de los gatos en un 10 %, comprobándose que las tensiones de los cables eran de 85 kg en anclajes y sin variación la de 81,50 en el centro.

Puente ferroviario sobre el Kocher en Kochendorf (Alemania).—«Boletín AIPC» núm. 15, 1956, pág. 39.—E. Ernst.—«Bautechnik».—4 abril 1953, págs. 104-6.

Puente ferroviario para la línea Stuttgart-Würzburg con dos dinteles separados uno para cada vía y vano de 18 + 4 × 25 + 20 y prolongaciones a los lados de 3,35 para las cabezas de pretensado.

Cada dintel tiene sección en cajón con canto variable de 1,50 a 2 m, según intradós curvo, y la losa inferior tiene abertura longitudinal en las zonas centrales de los vanos. La losa superior con espesor variable de 25 a 35 cm tiene una anchura de 2,95 m y en uno de los lados lleva un andén en vuelo de 1,05 m.

El pretensado longitudinal se ha realizado por el sistema Baur-Leonhardt aplicando 2.000 toneladas de compresión por cada elemento. También se pretensó el tablero a razón de 85 toneladas por metro lineal mediante el sistema Diwidag.

El puente se ha calculado para el tren de cargas S 1950. Fue construido por la Empresa Wölfer & Cöbel, de Stuttgart.

El puente de hormigón pretensado sobre el Rin en Untervaz (Suiza).—Información de la BBRN.

Puente de tablero mixto para carretera y ferrocarril salvando tres vanos de 27,60+35,80+27,60 en tramo continuo de 93 m de longitud total. El ancho correspondiente a carretera es de 6 m, el de ferrocarril 4,70, existiendo además en el lado carretera una

acera de 1,40 m. Sirve al acceso de la fábrica de cemento Bündner, de Untervaz.

El dintel se organiza en viga de cajón bicelular con acero volado y también el reborde del ferrocarril. El ancho total del cajón es de 9,60 m estando las vigas, todas ellas de 50 cm de anchura, a separaciones de 3,90 y 5,20 con vuelos de 1,65 y 0,70 m. La altura constante del dintel es de 1,60 m y se pretensa con ocho cables sistema BBRN de 125 toneladas y 2 de 90 toneladas. El tablero se pretensa transversalmente sobre los apoyos.

Puente ferroviario sobre el Suhl, en Sihlwald (Suiza).—Información de la BBRN.

Puente para ferrocarril simple vía que salva tres vanos de 14+36+14 m con tramos continuos de unos 65 m de longitud.

El dintel tiene sección cajón con 1,70 de altura constante aunque el forjado superior queda a un nivel intermedio dejando caja para alojar balasto y traviesas. El ancho del cajón es de 4,40 m y el de la plataforma 5,50, volando por ambos lados 55 cm. El ancho de las vigas es de 60 cm y el espesor de los forjados 20 cm. El cajón se refuerza mediante 15 diafragmas transversales.

Cada viga se pretensó por ocho cables de 125 toneladas más cuatro de 90, sistema BBRN.

El puente se apoya en dos pilas intermedias, una con articulación fija, y en dos pilares pendulares extremos, con lo cual tiene libre dilatación y se hace independiente de los estribos, cuya única misión es contener dos cables de 56 toneladas cada uno.

Se construyó en 1957 por la Empresa Brünner & Co. con proyecto de los ingenieros Henbuer y Lee.

El puente de Juazeiro (Brasil) para carretera y ferrocarril, de hormigón pretensado.—«Technique des Travaux».—Enero-febrero 1953, págs. 45-56, 21 figuras.—J. Clouet & A. J. Da Costa Nunes. «Boletín AIPC» núm. 14; 1955, págs. 34-35.

Puente para carretera y ferrocarril sobre el río San Francisco enlazando las ciudades de Juazeiro y Petrolina con 19 vanos fijos y uno metálico levadizo. El ancho total de tablero es de 10,40 m, repartido en un andén central para simple vía de 2,20 m, dos calzadas separadas de 3,25 de ancho y dos aceras exteriores de 0,85 m.

La estructura longitudinal se organiza en grupos independientes, que son: tramos independientes de un vano de 32,70 m de luz a ambos lados del tramo levadizo; un grupo de trece vanos continuos con luces extremas de 34 m e intermedias de 44,80; un grupo de tres vanos continuos de luces 34,80-4,80-34,65, y un vano primero aislado de 25 m especial para paso sobre el muelle de Juazeiro.

En estructura transversal los tramos se organizan en seis vigas principales de sección doble T, con altura en zona central de 1,65 m, que aumenta a 2,65 en apoyos mediante acartalamientos rectos. Se pretensaron mediante cables de 12 alambres de 5 mm en dos etapas, la primera al ir a mover los elementos premoledados y la segunda para establecer continuidad.

Las vigas se premoledaron en un taller del lado Petrolina con cuatro moldes de madera forrados de chapa, en mesas de hormigón. Cada elemento moldeado tiene la longitud de un vano, pero comprende parte de dos, es decir, la zona de altura constante de uno y las dos zonas acarteladas seguidas que corresponden a los dos lados de un apoyo. De este modo se va montando la estructura por cabalgamiento de tramo sobre ménsula, resultando isostática hasta el cierre de juntas con todas las ventajas del isostatismo y la continuidad, ya que las juntas están en los puntos de momento nulo para carga permanente. El pretensado en taller constaba de nueve cables por viga, de los cuales cinco en forma de S acostada. El pretensado de continuidad se disponía por el exterior de las vigas a medida que éstas iban quedando en su posición definitiva. En cada vano hay 108 en zona de apoyos y 72 en zonas centrales que se colocan en grupos de 36 de la misma longitud, desplazándose y solapándose unas con respecto a otras, con una longitud de 112 metros para abarcar dos vanos completos más dos voladizos de 10,30 metros.

El transporte de las vigas se hacía sobre carretones que corrían a lo largo de vigas dispuestas en la zona del puente sobre las vigas anteriormente colocadas y se lanzaban sobre el vano correspondiente mediante puente metálico auxiliar.

Los apoyos están constituidos por pares de pilares cilíndricos cimentados sobre rocas (carga admisible 40 kg/cm²) a una profundidad de unos 18 m cuyas cabezas se enlazan por una pantalla de hormigón armado de 40 cm de longitud reforzada en sus cuatro bordes para encajar las cabezas de las pilas, dar ancho suficiente en los aparatos de apoyos y presentar un espesor conveniente en los frentes. La perforación hasta la horca se hacía mediante un tubo de hormigón armado de 1,75 m de diámetro exterior de 10 cm de espesor, que servía de pozo indio para llegar por excavación directa y luego se rellenaba de hormigón armado. En las pilas del centro del río hubo necesidad de bajar con aire comprimido utilizando un tubo tablestaca metálico para preparar la excavación.

El apoyo fijo del tramo de trece vanos se dispuso en un islote intermedio sobre cuatro pilas y articulaciones simples metálicas.

En los apoyos móviles se dispusieron péndulos de hormigón armado con corazas metálicas.

El puente en pórtico pretensado de Uranusweg para paso superior de la línea C del Metro de Berlín-Reinickendorf.—«Spannbeton in Berlin».—Páginas 42-3.

Puente pórtico de 19,82 m de luz teórica para paso de la doble vía del ferrocarril metropolitano con un ancho total de 8,58 m.

La estructura es de pórtico biarticulado organizado en tres cu-chillos de losa gruesa, tanto en tabiques como en dintel. Este tiene canto variable de 0,75 en el centro a 1,21 en extremos. Los pilares tienen silueta triangular con 1,20 m de canto en cabeza.

Está cimentado sobre zapatas superficiales que son comunes a los muros de acompañamiento prolongándose por aletas en voladizo.

El tren de cargas considerado es el especial de las líneas de ferrocarriles rápidos de Berlín.

El pretensado se hizo por el sistema Hochlieff A. G. en pilares, y en dintel para este último en dos direcciones. Cables de 80 y 37 toneladas de capacidad nominal con alambres de 8 mm, calidad 135/150.

La cantidad de hormigón armado puesto en obra fué de 420 m³; la armadura pretensada, 1.900 ml., y el acero sin pretensar, 30 toneladas.

Se construyó en 1955 por las Empresas Hochtief A. G., Lenz-Bau A. G. y Ed. Zublin A. G. El coste ascendió a 204.000 DM.

Puente de la calle Seidel para paso superior de la línea C del Metro en Berlín-Reinickendorf.—«Spannbeton in Berlin», páginas 44-45.—«Beton und. Stahlbetonbau», pág. 100.

Puente pórtico de 65,10 m de luz libre para doble vía del ferrocarril metropolitano, con un ancho total de 9,62 m. Tiene una gran oblicuidad (32° 31'). La longitud total es de 82,30.

La estructura es de pórtico biarticulado organizado en dintel de sección bicelular con ancho de 6 m y altura variable entre 1,60 a 3,40 m y pilares macizos que se prolongan en voladizos superiores de 8,60 m. Las articulaciones quedan muy cerca del paramento externo, cimentándose sobre zapatas someras defendidas por recientes de tablestacas.

Se pretensó por el sistema Freyssinet, con cables de 12 alambres de 8 y 5,2 mm cuya capacidad nominal era de 50 y 30 toneladas. El acero era de características 135/150 en el diámetro mayor y 145/160 kg/mm². La sobrecarga de cálculo fué de vehículos de 56 toneladas.

Cada viga se pretensó mediante 84 cables de 50 toneladas en zona central y 156 sobre los apoyos.

La cantidad de hormigón armado puesta en obra fué 1.700 m³; el tonelaje de acero normal, 130 toneladas, y la longitud de cables de pretensión, 18.200 m.

Se construyó en 1957 por las empresas Siemens Raunion y Ways & Freytag A. G. y costó 1.100.000 DM.

El puente ferroviario de la Vouite sobre el Ródano de pórticos pretensados de 56 m de luz.—«Genie Civil»: 1.º mayo de 1956, págs. 175-177, 5 figuras.—«Revue Generale des Chemins de fer»: Enero 1956.—«Travaux»: Septiembre 1956, págs. 487-496.—«L. Carpentier»: Octubre 1956, págs. 545-555.—«N. Esquillon»: Diciembre 1956, págs. 619-635.

Está situado sobre el Ródano al sur de la ciudad de Valence, y enlaza las dos líneas férreas doble vía que van a lo largo del Ródano entre Lyon y Tarascón. Es el puente ferroviario de mayor importancia construido de hormigón pretensado en Francia y el mayor longitud para vía normal en el mundo (300 m), siendo la luz de sus vanos (56 m) superada únicamente en la fecha de su construcción por el de vía minera del Grubenbahn, en Horremer. Tiene cinco vanos de 56 m, y se proyectó por la Empresa Boussiron en colaboración estrecha con la SNCF, exigiendo condiciones muy apretadas de cálculo y de construcción y una vigilancia cuidadosa de las obras. El puente anterior tenía cinco arcos de fundición construidos en 1861 y reforzados por embebimiento en hormigón armado en 1923. Fué destruido por bombardeo aéreo en 1947, empezándose los estudios para el nuevo en 1944, adoptándose por la SNCF una solución de cinco arcos con tablero intermedio, que la Empresa modificó a la solución actual en 1952. Dos ventajas principales se introducían: supresión de andamios y desaparición de las péndulas que pudieran poner en peligro el puente en caso de descarrilamiento.

La SNCF exigió que las condiciones de seguridad de la obra fueran análogas a las de un puente de hormigón armado, que no

existiera riesgo alguno de fisuración y que el pretensado se realizara con cables rectos y anclajes sin posibilidad de deslizamiento. Además se estableció un pliego de condiciones para el cálculo, teniendo en cuenta el vigente en la SNCF y la futura Circular francesa de 26 de octubre de 1953, que estaba redactándose en aquellas fechas.

El puente consta de cinco tramos de 60 m de luz entre ejes, aunque la luz teórica de los pórticos es de 56 m. El dintel es de altura constante de 2,40 m de sección tricerular con una anchura de 5,50 m. Los espesores de los distintos elementos de la sección cambian según la zona; así el de la losa superior, variable además transversalmente, tiene un mínimo de 0,19 en los 32,50 m de la zona central y de 0,38 en las restantes zonas; en los tabiques verticales varía de 0,15 a 0,30 en los exteriores y de 0,20 a 0,40 en los interiores que están en los planos de los carriles. Existen cuatro diafragmas transversales de 20 cm de espesor que dan rigidez completa y dos refuerzos transversales inmediatos a clave.

Los pilares inclinados tienen también sección en cajón prolongando los tabiques del dintel. Su anchura disminuye desde 3,50 en cabeza hasta 1,50 en articulación, donde además terminan en sección maciza para la buena transmisión de cargas al cimiento.

Los dinteles de los distintos pórticos se enlazan mediante tramos independientes de 8 m de luz con cuatro vigas longitudinales cuya altura es la misma que el dintel, también se salva del mismo modo el espacio entre el último pórtico y el estribo. En una de las extremidades existe un paso sobre carretera que se salva mediante losa de hormigón armado de 90 cm de espesor.

El pretensado se ha llevado a cabo por un sistema especial mediante cables rectos de 16 alambres de 8 mm, situados 12 en la periferia y cuatro en el centro, anclados en cabezas mediante remachado de las extremidades formando botón en frío. El conjunto de alambres se embutía en canalizaciones cilíndricas de metal plegado de 75 mm de diámetro, colocándose una placa de asiento anular para transmitir las presiones al hormigón, accionándose independientemente los cables de la periferia y dos del centro. Aquéllos mediante un gato giratorio que sometía a los alambres a una deformación helicoidal o bien mediante tracción directa, y éstos por tracción directa mediante un dispositivo parecido al del sistema suizo BBRV. Para el pretensado vertical se utilizaron alambres aislados de 8 mm que transmitían la presión a través de arandelas de repartición y se tesaban mediante tuerca que se movía en la zona final roscada en frío del alambre. El esfuerzo de pretensado por cable es de 80 toneladas, con una tracción del acero de 100 kg/mm² que se supone reducida a 85 kg/mm² por todas las pérdidas. El número de cables es de 19 en la zona central inferior, 52 en dos capas en las zonas superiores que van avanzando por dovelas sucesivas y 34 en cada uno de los pilares en las superficies exteriores. Al ejecutar cada una de las dovelas se tesan cuatro cables a media carga. El tipo de acero es 130-150 kg/mm². Las resistencias exigidas al hormigón fueron de 420 kg/cm² en compresión y de 54 kg/cm² en tracción a los 90 días. No se permitían tensiones principales de tracción superiores a 5 kg/cm², lo que exigía el pretensado vertical. Mediante él pudieron suprimirse los cercos en los dinteles, pero no en pilares. La fórmula de comprobación a rotura fué $M_e + 1,8 M_s$, 0,7 M_r y este último se calculó por:
$$\frac{0,75}{0,96} h \cdot w$$

La construcción se realizó sin andamios, ejecutando el dintel en 16 secciones por voladizos sucesivos mediante encofrados colgados de un puente provisional tipo Bayley, que actuaba además como pieza horizontal de equilibrio entre los dos pilares del pórtico en construcción. En un primer proyecto se pensó en avanzar por voladizos sucesivos simétricos a partir de una pila, pero después se recurrió a avances simétricos con respecto al eje del vano. Esto exigió equilibrar los pilares inclinados de la extremidad no equilibrada por los tramos anteriores y esto se lograba apuntalándola a la opuesta a través de la viga que reforzaba el tablero del puente Bayley.

Los pilares inclinados se hicieron desde un andamio central con encofrados en desplome. Este andamio servía además para apoyo del puente Bayley y para la construcción del tramo independiente intermedio. Una vez construidos los pilares y el tramo intermedio se enlazaban los tres provisionalmente formando una estable. El puente Bayley se lanzaba apoyándose en una torre flotante intermedia, se reforzaba en doble-simple en el tramo en ejecución y avanzaba hasta el siguiente. Resiste su propio peso, el de la viga de contacto, la plataforma de circulación y el par flector correspondiente a una dovela.

Las vigas de contrarresto colgadas del puente Bayley se acodaban contra cartabones provisionales en las cabezas de los pilares; a medida que se avanzaba en dos dovelas simétricas se regulaba mediante gatos la compresión sobre la viga para evitar cualquier movimiento de los pilares por aumento del momento de vuelco. El ritmo de obra no pasó de dos dovelas simétricas por semana.

Al ejecutar las dovelas centrales se dajaba una articulación provisional entre ellas sobre la cabeza superior, materializada a través de gatos de 300 toneladas, que permitían ejercer entre las dos mitades del pórtico provisional, de tres articulaciones, el esfuerzo horizontal que le correspondía, descargando al mismo tiempo la viga de contrarresto. Entonces se deshacía la unión a través del tramo intermedio de los pilares enlazados. El pórtico pasaba a ser de dos articulaciones cuando se colocaba el balasto, y entonces se cerraba la junta tesándose los cables inferiores.